

**Die Taphozönose des Fischschiefers
(Rupelium/Oligozän)
der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“
(Baden-Württemberg/Deutschland)**

Taxonomie, Taphonomie und Paläoökologie

Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der
Naturwissenschaftlich-Mathematischen
Gesamtfakultät
der
Ruprecht-Karls-Universität
Heidelberg

vorgelegt von
Dipl.-Geol. Kristina Eck
aus Limburgerhof

2018

Diese Arbeit wurde in der Zeit von April 2014 bis März 2018 im Fachbereich
Geologie/Paläontologie der Universität Heidelberg unter der Leitung von Prof. Dr. Wolfgang
Stinnesbeck angefertigt.

Eingereicht am:
Tag der mündlichen Prüfung: 15. Mai 2018

Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang Stinnesbeck
Prof. Dr. Eberhard Frey

Prüfer: Prof. Dr. Margot Isenbeck-Schröter
Prof. Dr. Mario Tieloff

Die Arbeit wurde gefördert durch die Klaus Tschira Stiftung gGmbH.

Für Mama und Papa

DANKSAGUNG

Mein Dank geht in erster Linie an Prof. Eberhard „Dino“ Frey und Prof. Wolfgang Stinnesbeck für eine Betreuung, wie ich sie mir besser nicht hätte wünschen können. Ich danke Euch für Eure unendliche Geduld mit mir und für die Möglichkeit in dieser einzigartigen Fossilfundstelle zu arbeiten. Prof. Margot Isenbeck-Schröter und Prof. Mario Trieloff übernahmen dankenswerterweise das Koreferat für die vorliegende Arbeit. Außerdem habe ich besonders der Klaus Tschira Stiftung gGmbH für die Finanzierung des Forschungsprojektes zu danken, ohne die diese Arbeit niemals zustande gekommen wäre.

Ein besonderer Dank geht auch an all jene, die mir den Zugang zu den institutionellen Sammlungen gewährt haben: Dr. Norbert Micklich (HLMD), Dr. Michael Rasser, Dr. Reinhard Ziegler, Dr. Erin Maxwell und Dr. Anita Roth-Nebelsick (SMNS) sowie Dr. Rainer Brocke und Gunnar Riedel (SMF).

Ich habe vielen Menschen zu danken, die durch Beratung, Diskussion und Ideenaustausch die Bearbeitung der Neufunde unterstützten: Dr. Norbert Micklich, Dr. Günther Bechly, Ken Monsch, Dr. Christoph Brochu und Prof. Johanna Kovar-Eder. Dr. Norbert Micklich danke ich zudem für die Unterrichtung im Identifizieren und Präparieren von frischem Fossilmaterial. Ebenso Wolfgang Munk, der durch sein umfassendes Wissen über Präparation, die regionale Geologie des Oberrheingrabens und die Historie der Tongruben stets nützliche Basisinformationen parat hatte.

Außerdem möchte ich gerne den Mitarbeitern des GEOW und des SMNK danken, die das Arbeitsleben angenehmer gestalteten: Thomas Reutner, Seija Beckmann, Dr. Patrick Zell, Elfriede Grohmann, Achim Fillauer, Dr. Johanna Kontny, Francisco Cueto, Christiane Birnbaum, Tim Niggemeyer, Dieter Schreiber, Ute Gebhardt, Sarah Stinnesbeck und Daniel Falk.

Ein außerordentlich Dank geht auch an die Grabungshelfer, die unter Blut, Schweiß und Tränen in der Tongrube Unterfeld in den Sommern 2014, 2015 und 2016 über 36.000 Fossilien geborgen haben: Sigrid Staudt, Dr. Ulrich Bielert, Karl-Ludwig Metzger, Anette und Harald Oechsler, Emre Agca, Hannah Drös, Freya Thoresen, Hüseyin Cilingir, Melanie Seyfang, Merlin Grimm, Nadja Stöffler, Tanja Unger, Thorsten Eschweiler, Nils Schorndorf, Niklas Brachmann, Simon Linti, Steffen Knoll, David Brenner, Helen Kiefer, Anna Loreth, Christine Seemann, Larissa Frede, Mona Maier, Alexander Spörle, Sabrina Gfrerer, Christoph „Der Bagger“ Wollny und Jan „Der Gewerkschafter“ Reuther. Sigrid Staudt wird außerdem ein großer Dank für die Inventarisierungs- und Katalogisierungsarbeiten in der Sammlung des SMNK zu Teil.

Ein ganz besonderer Dank geht auch an alle Beteiligten der Stadt Rauenberg, die unsere Arbeiten tatkräftig unterstützt haben: Dr. Brigitta Martens-Aly, Thomas Glasbrenner und Jürgen Zielbauer. An dieser Stelle ist auch die Freiwillige Feuerwehr der Stadt Rauenberg zu nennen, die mich zwei Mal gerettet hat, als mir das Wasser buchstäblich bis zum Hals stand.

Ich danke Dr. Patrick Zell, Dr. Ulrich Bielert und Dr. Johanna Kontny für hilfreiche Tipps zum Schreiben einer Dissertation und Janine Johann für die Geduld und Zeit, mir Excel-Tricks für die statistische Auswertung beizubringen.

Last but not least danke ich den Menschen, die mir auf unterschiedliche Art und Weise geholfen haben, diese Arbeit zu erstellen und ohne die ich soweit nie gekommen wäre. Weil sie mich immer unterstützt und wenn nötig auch wieder aufgebaut haben: meine Familie, meine bessere Hälfte Thomas Gorski und meine Freunde.

ABSTRACT

The early Oligocene *Fischschiefer* of the Palaeogen tectonic plate Wiesloch-Rot is interpreted with respect to sedimentology, stratigraphy, taxonomy, diversity, taphonomy and palaeoecology. The sediments of this plate at the eastern ridge of the Upper Rhine Graben are assigned to the Hochberg Subformation within the Bodenheim Formation. The greyish to black clay and silt alternation was deposited during a transgression in the former Rupelian Sea. Sedimentological analyses of a profile in the clay pit Unterfeld at Rauenberg proofed that the sapropels were deposited above as well as below the storm wave base. During a deposition below the storm wave base finely laminated layers without any bioturbation were formed. During heavy storm events probably aligned with sea level changes the storm wave base occasionally perturbed the sea floor resulting in non-stratified, massive clay- and siltstones layers.

The *Fischschiefer* yields a divers tapho- and tanatocoenosis. Plants (Embryophyta) und bony fishes (Teleostei) are abundant and highly divers. Four different plant associations based on the taxonomy and taphonomy were identified: seagrass meadows along an off-shore ramp, a littoral swamp area, evergreen mixed forest in the immediate back land and an association of trees and shrubs from the submountainous area at the eastern ridge of the Upper Rhine Graben. Marine invertebrates (Gastropoda, Bivalvia, Echinodermata, Crustaceae), cartilaginous fishes (Chondrichthyes) und marine tetrapods (Testudinata, Sirenia) are rare compared with the above mentioned groups and strongly support the presence of a hostile deposition environment. The preservation of terrestrial invertebrates (Araneae, Insecta) and tetrapods (Aves, Microchiroptera, Creodonta) indicates a position of the deposition area near the coastline. The taphonomical analysis revealed an allochthonous background for the most of the fossils: a taphocoenosis, which was feed by a variety of surrounding ecosystems. A palaeobiogeographical analysis of the fish taxa revealed a northern as well as a southern influence. The significant southern influence documents the marine connection to the Paratethys in the south.

The knowledge about the frequency distribution of the fossils provided by the scientific excavation in the clay pit Unterfeld allowed to reconstruct a depositional model for the *Fischschiefer* of the Palaeogen complex of the Wiesloch-Rot Plate. The correlation of the frequency distribution of fossils from the seagrass meadows and the littoral forest showed that the seagrass meadows must be located offshore to the east of the depositional area. The fluctuating input from these source areas is opposed to the continuous input from the Rupelian Sea. For the depositional area along the eastern margin of the Upper Rhine Valley is a relief assumed with a west-bound inclination. During low sea level phases the connection between the depositional area and the littoral vegetation zone was interrupted. However, the connection to the pelagic area of the Rupelian Sea persisted. Additionally storm events had a strong influence on the input from biocoenoses in the vicinity.

The Fischschiefer of the Palaeogen plate Wiesloch-Rot were formed in a bay or coastal sea basin at a water depth below 50 m with a pertaining connection to the open sea. Distant located fresh water influences and occasionally algae blooms resulted in a stratification of the water column with alternating gradients of low-salt, high-oxygen surface water and high-salt, low-oxygen bottom-waters. The thickness of the low-oxygen bottom-waters likely was just about a few 100 mm. However, the taxonomical and taphonomical analyses revealed sparse life in the surface waters. The diversity of the Fischschiefer fossil assemblage thus can only have been the result of a life sustaining environment.

KURZFASSUNG

Der unteroligozäne Fischechiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ wird unter der Berücksichtigung der Sedimentologie, Stratigraphie, Taxonomie, Diversität, Taphonomie und Paläoökologie untersucht. Die Sedimente dieser Scholle am östlichen Rand des Oberrheingrabens werden der Hochberg-Subformation innerhalb der Bodenheimer-Formation zugeordnet. Die schwarzgrauen Ton- und Siltwechsellagerungen wurden während einer Transgression im einstigen Rupelmeer abgelagert. Sedimentologische Analysen an einem aufgenommenen Profil der Tongrube Unterfeld bei Rauenberg zeigen, dass der Faulschlamm zeitweise sowohl über als auch unter der Sturmwellenbasis abgelagert wurde. Unterhalb der Sturmwellenbasis bildeten sich in einem hypobis anoxischen Stillwasserbereich fein laminierte Schichten ohne Bioturbation. Die Sturmwellenbasis erreichte durch heftige Sturmereignisse oder Meeresspiegelschwankungen zeitweise den Meeresboden und verwirbelte die laminierten Faulschlammagen. Das führte zur Ablagerung von ungeschichteten, massigen Ton- und Siltsteineinlagen.

Der Fischechiefer zeichnet sich durch eine diverse Tapho- und Thanatozönose aus. Pflanzen (Embryophyta) und Knochenfische (Teleostei) sind abundant und hoch divers. Anhand der Taxonomie und Taphonomie der Pflanzenfossilien erfolgt eine Einteilung in vier Assoziationen: Seegraswiesen entlang der Offshore-Rampe, litorale Sumpfgebiete, immergrüne Laubmischwälder im unmittelbaren Hinterland und die Gemeinschaft der submontanen Stufe am östlichen Rand des Oberrheingrabens. Marine Wirbellose (Gastropoda, Bivalvia, Echinodermata, Crustacea), Knorpelfische (Chondrichthyes) und marine Landwirbeltiere (Testudinata, Sirenia) sind im Vergleich zu den oben genannten Gruppen selten und bestätigen ein lebensfeindliches Ablagerungsmilieu. Die Erhaltung terrestrischer Wirbellose (Araneae, Insecta) und Landwirbeltiere (Aves, Microchiroptera, Creodonta) belegt die küstennahe Lage des Ablagerungsraumes. Die taphonomische Analyse der Fossilien spricht für eine allochthone Herkunft und für eine Taphozönose, welche durch eine Vielzahl von umgebenden Ökosystemen gespeist wurde. Eine paläobiogeographische Analyse der Fischtaxa bestätigt, dass die Fischechiefer-Vergesellschaftung unter einem nördlichen und einem südlichen Fauneneinfluss stand. Der starke südliche Fauneneinfluss aus der Paratethys spricht für eine marine Verbindung zum Rupelmeer zur Ablagerungszeit des Fischechiefers.

Die Kenntnis über die vertikale Häufigkeitsverteilung der Fossilien aus der wissenschaftlichen Grabung ermöglicht eine Rekonstruktion des Ablagerungsmodells für den Fischechiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“. Die korrelierenden Häufigkeitsverteilungen von Fossilien aus den Seegraswiesen und den litoralen Waldgebieten belegen die ehemalige Existenz von Seegraswiesen im Osten des Ablagerungsbereiches. Sie waren der Küste vorgelagert. Der schwankende Eintrag aus diesen Liefergebieten steht gegensätzlich zu dem stetigen Eintrag von

Überresten pelagischer Taxa aus dem Rupelmeer. Es wird für den östlichen Rand des Rupelmeeres eine nach Westen abfallenden Relief angenommen. Dadurch unterbrach bei einem Meeresspiegelrückgang zeitweise die Verbindung zwischen dem Ablagerungsbereich und den litoralen Vegetationszonen. Die Verbindung zum Rupelmeer im Westen bestand dabei weiter. Sturmereignisse hatten ebenfalls einen Einfluss auf den Eintrag aus den umliegenden Biozönosen. Der Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ bildete sich in einer Bucht oder Meeresbecken in einer Wassertiefe von weniger als 50 m am östlichen Rand des Oberrheingrabens mit einer Verbindung zum Rupelmeer. Weit entfernte Süßwassereinflüsse und gelegentliche Algenblüten führten zu einer Stratifizierung der Wassersäule mit salzarmen, sauerstoffreichen Oberflächenwasser und salzreichen, sauerstofffreien Tiefenwässern. Letztere hatten eine Mächtigkeit von nur wenigen 100 mm. Ungeachtet dessen haben die taxonomischen und taphonomischen Analysen gezeigt, dass auch das Oberflächenwasser nur spärlich besiedelt war und der Fischschiefer seinen Artenreichtum den lebensfreundlichen Bereichen in der Umgebung zu verdanken hat.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XVII
Diagrammverzeichnis.....	XIX
Tabellenverzeichnis	XXI
Tafelverzeichnis	XXIII
1. Einleitung	1
1.1. Geologischer Rahmen.....	1
1.1.1. Der Oberrheingraben	1
1.1.1.1. Geographischer Überblick	1
1.1.1.2. Tektonische Entwicklung.....	2
1.1.1.3. Grabenfüllung	4
1.1.2. Die Stratigraphie des Oligozäns	10
1.1.3. Die Froidefontaine-Subgruppe	12
1.1.3.1. Definition und Synonyme	12
1.1.3.2. Untergliederung	12
1.1.3.3. Lithologie	14
1.1.3.4. Alter und Abgrenzungen	15
1.1.3.5. Verbreitung und Mächtigkeit	16
1.1.3.6. Paläogeographie und Bildungsbedingungen.....	16
1.2. Der Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“	21
1.2.1. Regionale Geologie	21
1.2.2. Stratigraphie	22
1.2.3. Lithologie	24
1.2.4. Paläontologie	24
1.2.4.1. Pflanzen (Embryophyta)	24
1.2.4.2. Wirbellose (Makroinvertebrata).....	26
1.2.4.3. Wirbeltiere (Vertebrata).....	27
1.3. Die Tongrube Unterfeld	31
1.3.1. Geographischer Überblick.....	31
1.3.2. Historischer Überblick.....	32
1.4. Fragestellung	34
2. Material und Methoden	35
2.1. Material.....	35
2.1.1. Wissenschaftliche Sammlungen.....	35
2.1.2. Grabungsarbeiten.....	36
2.2. Methoden	37
2.2.1. Grabungen	37
2.2.1.1. Wissenschaftliche Grabung.....	38
2.2.1.2. Amateurgrabung.....	52
2.2.2. Präparation.....	53
2.2.2.1. Schnellumbettung (nach KAISER & MICKLICH 1995):	53
2.2.2.2. Glycerin.....	53
2.2.2.3. Trocknen	54
2.2.3. Photographie und Bildbearbeitung	54
2.2.4. Datenverwaltung.....	54
2.2.5. Taxonomische Analyse	55
2.2.6. Taphonomische Analyse	57
2.2.7. Erfassung der Jungfische.....	60
2.2.8. Erfassung von Foraminiferen-Lagen und Pflanzenhäcksel-Horizonten.....	61

3. Sedimentologie und Stratigraphie des Fischeschiefers der Tongrube Unterfeld	63
3.1. Lithologie	63
3.2. Zeitliche Einordnung	64
3.3. Horizontale Orientierung der Funde	66
3.4. Vertikale Häufigkeitsverteilung der Foraminiferen	69
3.5. Sedimentologische Interpretationen	70
4. Die Fossilienvergesellschaftung des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle "Wiesloch-Rot" .	75
4.1. Pflanzen (Embryophyta)	75
4.1.1. Taxonomischer Überblick	75
4.1.2. Häufigkeit und Diversität	75
4.1.3. Erhaltene Elemente	77
4.1.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen	80
4.2. Marine Wirbellose (Makroinvertebrata).....	86
4.2.1. Taxonomischer Überblick	86
4.2.2. Häufigkeit und Diversität	87
4.2.3. Erhaltene Elemente	88
4.2.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen	90
4.3. Landlebende Wirbellose (Makroinvertebrata)	94
4.3.1. Taxonomischer Überblick	94
4.3.2. Häufigkeit und Diversität	95
4.3.3. Erhaltene Elemente	96
4.3.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen	98
4.4. Knorpelfische (Chondrichthyes)	99
4.4.1. Taxonomischer Überblick	99
4.4.2. Häufigkeit und Diversität	100
4.4.3. Zerfallsstufen	101
4.4.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen	102
4.5. Knochenfische (Teleostei).....	107
4.5.1. Taxonomischer Überblick	107
4.5.2. Häufigkeit und Diversität	109
4.5.3. Häufigkeit und Diversität der Jungfische	114
4.5.4. Zerfallsstufen	115
4.5.5. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen	126
4.6. Landwirbeltiere (Tetrapoda)	134
4.6.1. Taxonomischer Überblick	134
4.6.2. Häufigkeit und Diversität	134
4.6.3. Zerfallsstufen	136
4.6.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen	141
4.7. Schlussfolgerungen	145
5. Vertikale Häufigkeitsverteilung der Fossilien im Profil der Tongrube Unterfeld	147
5.1. Pflanzen (Embryophyta)	147
5.1.1. Algen (Phycophyta)	147
5.1.2. Seegrasgewächse (Zosteraceae)	147
5.1.3. Landpflanzen	149
5.1.4. Holzreste, unbestimmbare Fragmente und Pflanzenhäcksel-Horizonte	151
5.1.5. Vergleich und paläoökologische Interpretationen	153
5.2. Wirbellose (Makroinvertebrata)	156
5.2.1. Weichtiere (Mollusca)	156
5.2.2. Insekten (Insecta)	157
5.2.3. Vergleich und paläoökologische Interpretationen	158

5.3. Knorpelfische (Chondrichthyes)	158
5.3.1. Zähne	158
5.3.2. Kiemenreusendornen	159
5.3.3. Vergleich und paläoökologische Interpretationen	160
5.4. Knochenfische (Teleostei)	160
5.4.1. unbestimmbare Fischreste (Teleostei indet.)	161
5.4.2. Heringsartige (Clupeiformes)	163
5.4.3. Seenadelartige (Syngnathiformes)	164
5.4.4. Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes)	166
5.4.5. Jungfische	168
5.4.6. Vergleich und paläoökologische Interpretationen	169
5.5. Schlussfolgerungen	172
6. Statistische Auswertung der Fossilvergesellschaftung des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“	175
6.1. Zusammensetzung der Daten	175
6.1.1. Sammlungen	175
6.1.2. Amateurgrabung	181
6.1.3. Wissenschaftliche Grabung	182
6.2. Vergleich zwischen den Datenquellen	184
6.2.1. Pflanzen (Embryophyta)	184
6.2.1.1. Häufigkeit und Diversität	184
6.2.1.2. Erhaltungszustände	185
6.2.1.3. Schlussfolgerung	186
6.2.2. Marine Wirbellose (Makroinvertebrata)	186
6.2.2.1. Häufigkeit und Diversität	186
6.2.2.2. Erhaltungszustände	187
6.2.2.3. Schlussfolgerung	188
6.2.3. Landlebende Wirbellose (Makroinvertebrata)	189
6.2.3.1. Häufigkeit und Diversität	189
6.2.3.2. Erhaltungszustände	190
6.2.3.3. Schlussfolgerung	191
6.2.4. Knorpelfische (Chondrichthyes)	191
6.2.4.1. Häufigkeit und Diversität	191
6.2.4.2. Zerfallsstufen	191
6.2.4.3. Schlussfolgerung	193
6.2.5. Knochenfische (Teleostei)	193
6.2.5.1. Häufigkeit und Diversität	193
6.2.5.2. Jungfische	194
6.2.5.3. Zerfallsstufen	196
6.2.5.4. Schlussfolgerung	202
6.2.6. Landwirbeltiere (Tetrapoda)	205
6.3. Diskussion	205
7. Vergleich mit anderen unteroligozänen Fundstellen in Europa und Diskussion des Ablagerungsmodells für den Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“	207
7.1. Vergleich der Fischschiefer-Taphozönose mit derjenigen anderer unteroligozänen Fundstellen in Europa	207
7.1.1. Bodenheimer-Formation, Flörsheim (Mainzer Becken, Hessen)	208
7.1.2. Böhlen-Formation, Haselbach (Weißelsterbecken, Sachsen)	208
7.1.3. Häring-Formation, Kufstein (Tirol, Österreich)	209
7.1.4. Schlussfolgerungen zur Floren-Vergesellschaftung des Fischschiefers	210
7.1.5. Froidefontaine-Formation, Froidefontaine (Bourgogne-Franche-Comté, Frankreich)	212
7.1.6. Bodenheimer-Formation, Rheinweiler (Baden-Württemberg)	213
7.1.7. Pshekha-Formation (Nord-Kaukasus)	213
7.1.8. Alzey-Formation, Alzey (Mainzer Becken, Rheinland-Pfalz)	214
7.1.9. Boom-Formation, Boom (Flandern, Belgien)	215

7.1.10. Brinkheurne-Formation, Winterswijk (Gelderland, Niederlande)	215
7.1.11. Schlussfolgerungen zur Fisch-Vergesellschaftung des Fischeschiefers	217
7.2. Diskussion der paläoökologischen Rahmenbedingungen zur Ablagerungszeit des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“	222
7.2.1. Klimatische Bedingungen	222
7.2.2. Paläogeographie	222
7.2.3. Wassertiefe	224
7.2.4. Sauerstoffgehalt.....	225
7.2.5. Das Ablagerungsmodell	228
8. Fazit.....	233
9. Referenzen	237
10. Anhang.....	249

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des European Cenozoic Rift System (gelb); Stern = Lage des Arbeitsgebietes (nach DÉZES et al. 2004).	1
Abbildung 2: Untergliederung des ORG in Becken und Schwellen (vereinfacht nach GRIMM et al. 2011).	3
Abbildung 3: Chronostratigraphische Entwicklung der Beckenstrukturen des ORG in einem schematischen Längsschnitt (nach GRIMM et al. 2011).	4
Abbildung 4: Chronostratigraphische Einstufung der paläogenen und neogenen Sedimente im ORG (nach GRIMM et al. 2011).	9
Abbildung 5: Geographische Lage von Boom in Belgien.	10
Abbildung 6: Stratigraphie des Oligozäns.	11
Abbildung 7: Mikropaläontologische Untergliederung des Fischeschiefers (Hochberg-Subformation; nach GRIMM 1991).	14
Abbildung 8: Paläogeographische Situation in Zentral- und Südeuropa während des frühen Oligozäns (nach MICLAUS et al. 2007).	17
Abbildung 9: Paläogeographische Karte des ORG zur Zeit des frühen Rupelium (roter Stern = Lage des Arbeitsgebietes; verändert nach BERGER et al. 2005a).	18
Abbildung 10: Paläogeographische Karte des ORG zur Zeit des mittleren Rupelium (roter Stern = Lage des Arbeitsgebietes; verändert nach BERGER et al. 2005a).	19
Abbildung 11: Paläogeographische Karte des ORG zur Zeit des späten Rupelium (roter Stern = Lage des Arbeitsgebietes; verändert nach BERGER et al. 2005a).	20
Abbildung 12: Geologische Gliederung des Ostrandes des ORG zwischen Bruchsal und Heidelberg (roter Stern: Lage des Arbeitsgebietes; nach HILDEBRANDT 1985).	21
Abbildung 13: Profil der Tongrube Unterfeld (nach GRIMM et al. 2002 und MAXWELL et al. 2016).	23
Abbildung 14: Geographische Lage der ehemaligen Tongruben im Raum Wiesloch und Rauenberg: a. Deutschland, b. Baden-Württemberg, c. Region: 1. Viehweg, 2. Dittmannstal, 3. Reimsloch, 4. Guggen, 5. Unterfeld (Arbeitsgebiet), 6. Frauenweiler, 7. Rohrlach, 8. Weinäcker, 9. Dämmelwald I, 10. Dämmelwald II, 11. Unter dem Damm, 12. Dammstückern (nach MONNINGER & FREY 2010 und openstreetmap.org).	32
Abbildung 15: Zustand der Grube im Sommer 2014 vor Beginn der Baggerarbeiten (Blick nach Süden).	37
Abbildung 16: Zustand der Grube kurz vor Abschluss der Baggerarbeiten im September 2014 mit den angelegten terrassenförmigen Bermen im Norden (Blick nach Nordwesten).	38
Abbildung 17: Übersicht über die Bermen, Grabungsflächen und Schichten.	40
Abbildung 18: Das Prinzip der angewandten Triangulation und Orientierungsmessung.	41
Abbildung 19: a. Schematische Lage der Grabungsfläche II (F3, F4: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche II (Blick nach Norden).	43
Abbildung 20: a. Schematische Lage der Grabungsfläche III (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche III (Blick nach Norden). Die Grabungsfläche zeichnete sich durch eine starke Verfälschung der Schichten aus. Auf die Richtungsmessung von Funden wurde in diesem Bereich verzichtet.	44
Abbildung 21: a. Schematische Lage der Grabungsfläche IV a (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche IV a (Blick nach Norden).	45
Abbildung 22: a. Schematische Lage der Grabungsfläche IV b (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche IV b (Blick nach Südwesten).	45
Abbildung 23: a. Schematische Lage der Grabungsfläche IV c (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche (Blick nach Nordosten).	46
Abbildung 24: a. Schematische Lage der Grabungsfläche V a (F7, F8: Fixpunkt; A, B, C: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche V (Blick nach Westen).	47
Abbildung 25: a. Schematische Lage der Grabungsfläche V b (F7, F8: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche V b (Blick nach Norden).	48
Abbildung 26: a. Schematische Lage der Grabungsfläche VI a (F9, F10: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VI a (Blick nach Nordwesten).	49
Abbildung 27: a. Schematische Lage der Grabungsfläche VI b (F9, F10: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VI b (Blick nach Südwesten).	50
Abbildung 28: a. Schematische Lage der Grabungsfläche VII a (F10, F11: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VII a (Blick nach Süden).	51
Abbildung 29: Schematische Lage der Grabungsfläche VII b (F10, F11: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VII b (Blick nach Südwesten).	52

Abbildung 30: Areal der Amateurgrabung (Blick nach Südwesten; die Höhe der Berme beträgt einen guten Meter; Funde wurden hier nicht eingemessen; F3: Fixpunkt der Grabungsfläche II).	53
Abbildung 31: Orientierung der im Rahmen der Profilaufnahme aufgefundenen Fossilien: a. Grabungsfläche VII b (Schichten 1 - 3), b. Grabungsfläche VI b (Schichten 7 - 9), c. Grabungsfläche VI a (Schichten 10 - 12), d. Grabungsfläche V b (Schichten 13 - 21), e. Grabungsfläche V a (Schicht 22).	67
Abbildung 32: Orientierung der im Rahmen der Profilaufnahme aufgefundenen Fossilien: a. Grabungsfläche IV c (Schichten 23 - 25), b. Grabungsfläche IV b (Schichten 26 - 27), c. Grabungsfläche IV a (Schichten 28 - 32), d. Grabungsfläche III (Schichten 33 - 41), e. Grabungsfläche II (Schichten 43 - 49).	68
Abbildung 33: Reste eines nicht näher bestimmaren Herings (Clupeidae indet., roter Kreis) als Mageninhalt eines nicht näher bestimmten Haarschwanzes (Trichiuridae indet., SMNS 30265/2005, Inv. Nr. 80739/22).	130
Abbildung 34: Sägebarsch <i>Oliganodon budensis</i> HECKEL 1856 (Serranidae), Zerfallsstufe 2, (SMNS 30973/2005, Inv. Nr. 87457/27).	130
Abbildung 35: Fragmente von Hautknochenplatten eines unbestimmten Krokodils (Crocodylia indet., Zerfallsstufe 10, RP 01189): a. dorsal, caudal, b. ventral, c. - g. dorsal, h. unbestimmt, i. - j. dorsal, k. unbestimmt, l. dorsal, m. unbestimmt.	139
Abbildung 36: Übersicht über unteroligozänen Fundstellen in Europa, die eine ähnliche Floren- oder Faunenzusammensetzung wie der Fischeschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ haben: Flora: 1. Flörsheim, 2. Haselbach, 3. Kufstein; Fischfauna: A: Boom B: Winterswijk, C: Mainzer Becken, D: Rheinweiler, E: Froidefontaine, F. Nord-Kaukasus; roter Stern = Unterfeld.	207
Abbildung 37: Botanische Zonierung der östlichen Rupelmeerküste im Bereich der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“: Seegraswiesen: Seegrasgewächse (Zosteraceae indet.); litorales Sumpfgebiet: brackewassertolerante Zypressengewächse (Cupressaceae) und Palmengewächse (Arecaceae); immergrüner Laubmischwald: Palmfarne (Cycadales), Lorbeergewächse (Lauraceae), Palmengewächse (Arecaceae), Platanengewächse (Platanaceae), Walnussgewächse (Juglandaceae), Weidengewächse (Salicaceae), Buchengewächse (Fagaceae), Gagelstrauchgewächse (Myricaceae); submontane Zone: Kieferngewächse (Pinaceae), Walnussgewächse (Juglandaceae), Gagelstrauchgewächse (Myricaceae).	212
Abbildung 38: Paläobiogeographische Verteilung der unteroligozänen Fischfaunen im Nordmeer, im Rupelmeer und in der Paratethys.	221
Abbildung 39: Paläogeographie und Küstenverlauf am östlichen Rand des ORG im Bereich der Paläogen-Scholle Wiesloch-Rot: grüner Stern: Tongruben „Unter dem Damm“ und „Dammstückern“ (Nr. 11 und 12 in Abb. 14), gelber Stern: Tongrube „Weinäcker“ (Nr. 8 in Abb. 14), orangefarbener Stern: Tongruben „Dämmelwald I“ und „Dämmelwald II“ (Nr. 9 und 10 in Abb. 14), blauer Stern: Tongruben „Frauenweiler“ und „Rohrlach“ (Nr. 6 und 7 in Abb. 14), roter Stern: Tongrube „Unterfeld“ (Nr. 5 in Abb. 14), brauner Stern: Tongruben „Viehweg“, „Dittmannstal“, „Reimsloch und „Guggen“ (Nr. 1 bis 4 in Abb. 14).	223
Abbildung 40: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp I: laminierte Schichten, stagnale Ablagerungsbedingungen, keine Bioturbation, keine Veränderung der SWB, hoher Fossileintrag, Stratifikation der Wassersäule.	230
Abbildung 41: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp II: ähnlich zu Schichttyp I mit stärkeren Sturmereignissen (Wechsellagerung aus massigen und laminierten Schichten), Eintrag aus dem Rupelmeer leicht verringert, Bioturbation.	230
Abbildung 42: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp III: hauptsächlich laminierte Schichten, Wasserstand niedriger als bei der Bildung der Schichttypen I und II, Eintrag vom Land aus den Seegraswiesen geht leicht, aus dem litoralen Sumpfgebiet stark zurück.	231
Abbildung 43: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp IV: niedrigster Wasserstand, Wasserzirkulation, Bioturbationen, Eintrag aus den Seegraswiesen und dem litoralen Sumpfgebiet geht sehr stark zurück, aus dem Rupelmeer nur leicht. ..	231

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Schichtabfolge in der Tongrube Unterfeld.	64
Diagramm 2: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Kiemenreusendornen des Riesenhais <i>Keasius</i> sp. (Cetorhinidae) in dem aufgenommenen Profil in der Tongrube Unterfeld.	65
Diagramm 3: Schichtabfolge der Tongrube Unterfeld mit den Ergebnissen der Orientierungsmessung der aufgefundenen Fossilien, dargestellt in Richtungsrosen (eine Rose steht für eine Grabungsfläche, vgl. Abb. 17).	69
Diagramm 4: Schichtabfolge der Tongrube Unterfeld mit der vertikalen Häufigkeitsverteilung von Foraminiferen.	70
Diagramm 5: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Pflanzen (Embryophyta).	77
Diagramm 6: Relative Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente bei den Pflanzenfossilien.	78
Diagramm 7: Bevorzugte Umweltbedingungen der Landpflanzen aus dem Fischeschiefer. Vergleich mit den rezenten Vergleichstaxa wie in Tab. 4/Anhang gegeben: a. bevorzugtes Klima, b. bevorzugtes Habitat, c. bevorzugter Standort.	85
Diagramm 8: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der marinen Wirbellosen.	88
Diagramm 9: Relative Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente von marinen Wirbellosen.	89
Diagramm 10: Bevorzugte Lebensbedingungen der endobenthischen, marinen Wirbellosen aus dem Fischeschiefer. Vergleich mit den rezenten Vergleichstaxa wie in Tab. 8/Anhang gegeben: a. Ernährung, b. Lebensraum.	92
Diagramm 11: Bevorzugte Lebensbedingungen der epibenthischen, marinen Wirbellosen aus dem Fischeschiefer. Vergleich mit den rezenten Vergleichstaxa wie in Tab. 8/Anhang gegeben: a. Ernährung, b. Lebensraum.	94
Diagramm 12: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata).	96
Diagramm 13: Relative Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata).	97
Diagramm 14: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Knorpelfische (Chondrichthyes).	101
Diagramm 15: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Chondrichthyes (Selachii).	102
Diagramm 16: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Knochenfische (Teleostei).	109
Diagramm 17: Relative Häufigkeitsverteilung a. aller Knochenfischordnungen, b. der Barschverwandte unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed.), c. der Seenadelartigen (Syngnathiformes), d. der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) und e. der Barschartigen (Perciformes).	113
Diagramm 18: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Jungfische.	114
Diagramm 19: Relative Häufigkeitsverteilung der Jungfische.	115
Diagramm 20: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Knochenfische (Teleostei).	116
Diagramm 21: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Heringsartigen (Clupeiformes).	117
Diagramm 22: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Dorschartigen (Gadiformes).	118
Diagramm 23: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Barschverwandten unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed.).	119
Diagramm 24: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Seenadelartigen (Syngnathiformes).	120
Diagramm 25: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes).	121
Diagramm 26: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen bei den Stachelmakrelenartigen (Carangiformes).	122
Diagramm 27: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Hornhechtartigen (Beloniformes).	123
Diagramm 28: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Barschartigen (Perciformes).	125
Diagramm 29: Bevorzugte Umweltbedingungen der Teleostei aus dem Fischeschiefer. Vergleich mit Individuen der rezenten Taxa wie in Tab. 34/Anhang gegeben: a. bevorzugtes Klima, b. bevorzugtes Habitat, c. bevorzugte Wassertiefe.	133
Diagramm 30: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Landwirbeltiere (Tetrapoda).	135
Diagramm 31: Relative Häufigkeitsverteilung a. aller Landwirbeltiertaxa, b. der Schildkröten (Testudinata) und c. der Vögel (Aves).	136
Diagramm 32: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Landwirbeltiere (Tetrapoda).	137
Diagramm 33: Vertikale Häufigkeitsverteilung von unbestimmten Algen (Phycophyta indet.).	148
Diagramm 34: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Seegrasgewächse (Zosteraceae indet.).	149
Diagramm 35: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Nadelgehölze (Coniferopsida).	150
Diagramm 36: Vertikale Häufigkeitsverteilung terrestrischer Blütenpflanzen (Magnoliopsida).	151
Diagramm 37: Vertikale Häufigkeitsverteilung der unbestimmbaren Fragmente und Holzreste.	152
Diagramm 38: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Pflanzenhäcksel-Horizonte im Vergleich zu den Häufigkeitsverteilungen von anderen Pflanzenresten.	153
Diagramm 39: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Weichtiere (Mollusca).	156
Diagramm 40: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Insekten (Insecta).	157
Diagramm 41: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zähne von Knorpelfischen (Chondrichthyes).	159
Diagramm 42: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Knochenfische (Teleostei).	161
Diagramm 43: Vertikale Häufigkeitsverteilung der unbestimmten Knochenfischreste (Teleostei indet.) und ihrer Zerfallsstufen.	162

Diagramm 44: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Heringe (Clupeidae).	163
Diagramm 45: Vertikale Häufigkeitsverteilung und Diversität der Seenadelartigen (Syngnathiformes).	165
Diagramm 46: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen des Schnepfenmesserfisches <i>Aeoliscus</i> (Centriscidae, Syngnathiformes).	166
Diagramm 47: Vertikale Häufigkeitsverteilung und Diversität der Scombriformes.	167
Diagramm 48: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes).	168
Diagramm 49: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Jungfische (Teleostei).	169
Diagramm 50: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Taxa und Unterscheidung der Schichttypen wie im Text beschrieben: orange: Schichttyp I, gelb: Schichttyp II, grau: Schichttyp III, rot: Schichttyp IV.	174
Diagramm 51: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des GEOW (Stand: April 2014).	176
Diagramm 52: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des SMNK (Stand: Dezember 2014).	177
Diagramm 53: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität in der paläontologischen Sammlung des HLMD (Stand: März 2015).	179
Diagramm 54: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des SMF (Stand: November 2015).	180
Diagramm 55: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des SMNS (Stand: März 2016).	181
Diagramm 56: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa aus der Amateurgrabung.	182
Diagramm 57: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa aus der wissenschaftlichen Grabung.	183
Diagramm 58: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen und Diversität der Pflanzen-Taxa in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.	184
Diagramm 59: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilungen der erhaltenen Elemente von Pflanzen (Embryophyta): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	185
Diagramm 60: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilung und Diversität der marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.	187
Diagramm 61: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	188
Diagramm 62: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen und Diversität der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.	189
Diagramm 63: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilungen der erhaltenen Elemente von landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	190
Diagramm 64: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen von Haien (Selachii): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	192
Diagramm 65: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen und Diversität der Knochenfisch-Taxa in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.	194
Diagramm 66: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilung und Diversität der Jungfische (Teleostei): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	195
Diagramm 67: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei Heringsartigen (Clupeiformes): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	197
Diagramm 68: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei Seenadelartigen (Syngnathiformes): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	199
Diagramm 69: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	201
Diagramm 70: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei allen Knochenfischen (Teleostei): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.	204

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Altfunde in den Sammlungen und Anzahl der Exemplare, welche in die Analyse miteinbezogen wurden.	35
Tabelle 2: Bei der Grabung eingesetzte taxonomische und taphonomische Kategorien (vgl. Kap. 2.2.5., 2.2.6.).	42
Tabelle 3: Überblick über die verwendeten taxonomischen Kategorien.	56
Tabelle 4: Definition der verwendeten Zerfallsstufen für Wirbeltiere (Vertebrata).	58
Tabelle 5: Vergleich der Fischschiefer-Flora der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ mit anderen unteroligozänen Floren in Europa.	210
Tabelle 6: Vergleich der Fisch-Vergesellschaftung des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ mit denjenigen von anderen unteroligozänen Aufschlüssen in Europa.	216

Tafelverzeichnis

Tafel 1: Beispiele für fossil erhaltenen Elemente der Pflanzen (Embryophyta): a. Lager (Rhodophyta indet., SMNS-P 1952-205), b. Blatt (oben Zosteraceae indet. und unten Platanaceae indet., Magnoliopsida, SMNS-P1952/97), c. Holz (Spermatophytina indet.), d. Zapfen (<i>Pinus</i> sp., SMNK-PAL. 7706); e. Fruktifikation (<i>Carya quadrangula</i> , SMNS-P1952-159), f. Fragment (Embryophyta indet.).	57
Tafel 2: Beispiele für erhaltene Elemente der Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Schale (<i>Panopea</i> sp., SMNK-PAL 774), b. Panzer (Mathildellidae indet., SMNK-PAL. 7363), c. Ganzkörperfossil (Crustaceae indet., SMNK-PAL. 8391); d. Einzelelement (Chela, <i>Homarus</i> sp., GEOW), e. Ganzkörper ohne Caput und Extremitäten fehlen (Coleoptera indet., SMNS: Konv. Oechsler 75/2014, 39).	58
Tafel 3: Beispiele für Zerfallsstufen der Knorpelfische (Chondrichthyes): a. Stufe 3: artikulierter, fragmentierter Ganzkörper (<i>Weissobatis micklichi</i> , SMF-P 9756), b. Stufe 6: fragmentiertes Kiemenreusendornbündel (<i>Keasius parvus</i> , HLMD-WT 912), c. Stufe 8: assoziierte, disartikulierte und fragmentierte Körperteile (Vertebrae, <i>Carcharias cuspidata</i> , GEOW), d. Stufe 9: vollständige Kauplatte (<i>Weissobatis micklichi</i> , SMNS 87457/2), e. Stufe 10: fragmentierter Zahn (<i>Isurulamna gracilis</i> , HLMD-SMFF 348).	59
Tafel 4: Beispiele für Zerfallsstufen der Knochenfische (Teleostei): a. Stufe 1: vollständig artikulierter Ganzkörper (Clupeidae indet., SMNK-PAL. 6899), b. Stufe 4: fragmentierter, disartikulierter Ganzkörper (<i>Leiognathus</i> cf. <i>altapinna</i> , HLMD-SMFF 257), c. Stufe 5: artikulierte Körperteile (<i>Aulostomus medius</i> , HLMD-WT 886), d. Stufe 5: artikulierte Körperteile (<i>Aeoliscus</i> sp., SMNS-80739/13), e. Stufe 5: artikulierte Körperteile (Dorsale, Perciformes indet., SMNS-85947/21), f. Stufe 10: fragmentierte Rundschuppen (Clupeidae indet., SMNS-87457/241), g. Stufe 10: fragmentierte Zähne (<i>Eutrachirides delheidi</i> , HLMD-SMFF 545).	59
Tafel 5: Beispiele für Zerfallsstufen der Landwirbeltiere (Tetrapoda): a. Stufe 2: artikulierter, fragmentierter Ganzkörper (Testudinata indet., SMNK-PAL 7575), b. Stufe 3: artikulierter, fragmentierter Ganzkörper ("Kaupitherium cf. <i>schinzii</i> ", HLMD-WT 701), c. Stufe 4: disartikulierter, fragmentierter Ganzkörper (<i>Rupelrhamphastoides knopfi</i> MAYR 2006, SMNK-PAL 4334), d. Stufe 10: fragmentiertes Einzelelement (rechte Unterkieferhälfte, <i>Apterodon rauenbergensis</i> FREY et al. 2010, SMNK-PAL 6524).	60
Tafel 6: Erhaltung von Rotalgen (Rhodophyta), a: Fragment des Fadensystems (SMNS P1952-323), b. Fadensystem (SMNK-PAL 7647).	79
Tafel 7: Fossile Belege für Seegrasgewächse (Zosteraceae) im Fischeschiefer: a. einziges bekanntes Fossil eines Seegrasgewächses aus dem Fischeschiefer mit Wurzelstockerhaltung (SMNK-PAL 7659), b. häufigste Erhaltungsform: Fragmente von Seegrasblättern (Neufund ohne Fundnummer).	79
Tafel 8: Erhaltung von Blättern des Zimthaumes <i>Daphnogene cinnamomifolia</i> (BRONGNIART) UNGER: a. fragmentiert (UF 2015-779), b. vollständige Erhaltung (SMNS P 1952-71).	80
Tafel 9: Erhaltene Elemente der marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Pelikanfuß <i>Drepanocheilus</i> cf. <i>speciosus</i> SCHLOTHEIM 1820 (Aragonitgehäuse, zweidimensional, SMNS 106771), b. Buccinoidea <i>Streptochetus</i> sp. (Aragonitgehäuse, dreidimensional, fragmentiert, SMNK-PAL 7789), c. Baummuschel <i>Isognomon</i> sp. (Kalzitgehäuse, zweidimensional, fragmentiert, disartikulierte SMNK-PAL 7584), d. Meermandel ? <i>Glycymeris</i> sp. (Kalzitgehäuse, zweidimensional, disartikulierte, mit Abdruck auf der Gegenplatte, SMNK-Pal 7590), e. unbestimmter Herzseeigel Schizasteridae indet. (Mg-Kalziterschale, dreidimensional, SMNS 19970/2008), f. <i>Ova</i> sp. (Mg-Kalziterschale, zweidimensional, stark fragmentiert, SMNK-PAL 7354), g. Malacostraca indet. (Chitinpanzer, zwei dimensional, Beine wurden nachträglich aufgemalt, SMNK-PAL 7797) h. Zehnfüßerkrebs <i>Coeloma taunicum</i> VON MEYER 1862 (Chitinpanzer, dreidimensional, stark fragmentiert, GEOW ohne Nummer, Katalognummer RP01226).	90
Tafel 10: Erhaltene Elemente der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Käfer, Coleoptera indet. (Ganzkörper ohne Kopf und Extremitäten SMNS Konv. Oechsler 75/2014, 39), b. Käfer, Coleoptera indet. (isolierte Elemente, Deckflügel (Elytren), SMNS Konv. Oechsler 75/2014, 50), c. Ameise, Formicidae indet. (Ganzkörper, SMNS 12719/2008, 161).	97
Tafel 11: Beispiele für Zerfallsstufen: a. Tarpunartige (Elopiformes): Elopidae indet., Zerfallsstufe 8, Wirbelsäule und Caudale (SMNS ohne Sammlungsnummer); b. Aalartige (Anguilliformes): <i>Deutschenchelys micklichi</i> PROKOFIEV 2012, Zerfallsstufe 3 (HLMD-WT 35).	116
Tafel 12: Beispiele für Zerfallsstufen: a. Heringsartige (Clupeiformes): Clupeidae indet., Zerfallsstufe 8, Schädel (HLMD-WT 369); b. Dorschartige (Gadiformes): <i>Palaeogadus</i> sp., Zerfallsstufe 4 (HLMD WT 311).	118
Tafel 13: Beispiele für die Zerfallsstufen der Barschverwandten unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed.): a. <i>Capros</i> sp., Zerfallsstufe 1 (SMNS 37395/2014, Inv. Nr. 96861/59), b. <i>Priacanthus spinosus</i> BLAINVILLE 1818, Zerfallsstufe 3 (HLMD-WT 123).	119
Tafel 14: Beispiele für Zerfallsstufen der Seenadelartigen (Syngnathiformes): a. <i>Syngnathus</i> sp., Zerfallsstufe 1, (SMNS 31034/2005, Inv.Nr. 87457/224), b. <i>Frauenweilerstomus synarcualis</i> PARIN & MICKLICH 1996, Zerfallsstufe 4 (SMNS 30719/2005, Inv.Nr. 87457/68), c. <i>Aeoliscus</i> sp., Zerfallsstufe 7, Schädel und Knochenpanzer (SMNS 30851/2005, Inv.Nr. 87457/127), d. <i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>O. gracilis</i> , Zerfallsstufe 8, Schädel (HLMD-WT 913).	120

Tafel 15: Beispiele für Zerfallsstufen der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes): a. <i>Propercarina</i> sp., Zerfallsstufe 1 (SMNK-PAL 7179), b. Scombridae indet., Zerfallsstufe 6, caudaler Abschnitt der Wirbelsäule (SMNS 30415/2005, Inv. Nr. 80529/90).	121
Tafel 16: Beispiele für Zerfallsstufen der a. Stachelmakrelenartigen (Carangiformes): <i>Archaeus</i> sp., Zerfallsstufe 4 (SMNS 30916/2005, Inv. Nr. 87457/4); b. Plattfischartigen (Pleuronectiformes): <i>Oligoscoptthalmus weissi</i> SAKAMOTO et al. 2003, Zerfallsstufe 3 (HLMD-SMFF 41); c. Hornhechtartigen (Beloniformes): <i>Hemiramphus</i> sp., Zerfallsstufe 5, Schädel (SMNS 30244/2005, Inv. Nr. 80738/162); d. Spatenfischartigen (Ephippiformes): <i>Archaehippus</i> sp., Zerfallsstufe 1 (HLMD-WT 32); e. Meerbrassenartigen (Spariformes): <i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i> WITTICH 1900, Zerfallsstufe 6, Kieferfragmente (HLMD-SMFF 307); f. Armflosserartigen (Lophiiformes): Lophiidae indet., Zerfallsstufe 3 (HLMD-SMFF 158 b); g. Sonnbarschartigen (Centrarchiformes): cf. <i>Microcanthus</i> sp., Zerfallsstufe 3 (HLMD-WT 409).	124
Tafel 17: Beispiele für Zerfallsstufen der Barschartigen (Perciformes): a. Perciformes indet., Zerfallsstufe 1 (SMNK-PAL 6702), b. Perciformes indet., Zerfallsstufe 6, Brustflosse (SMNS 30743/2005, Inv. Nr. 87457/92), c. Perciformes indet., Zerfallsstufe 10, Kammschuppe (SMNS 30964/2005, Inv. Nr. 87457/244).	125
Tafel 18: Beispiele für die Erhaltung von Panzern der Schildkröten (Testudinata): a. Carapax und Plastron einer Meeresschildkröte (cf. „ <i>Chelonia</i> “ <i>gwinneri</i> WEGNER 1918), b. Carapax einer Weichschildkröte (Trionychidae indet., SMNS 96919).	138
Tafel 19: Beispiele für die Zerfallsstufen der Vögel (Aves): a. <i>Rupelornis brodkorbi</i> CHENEVAL 1995, Zerfallsstufe 3 (SMF-Av 520), b. Procellariiformes indet., Schädel, Zerfallsstufe 7 (SMNS ohne Sammlungsnummer), c. Aves indet., Feder, Zerfallsstufe 10 (SMF-Av 522).	140

1. Einleitung

Das Arbeitsgebiet der vorliegenden Arbeit, die Tongrube Unterfeld auf der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“, liegt am östlichen Rand des Oberrheingrabens zwischen Heidelberg im Norden und Karlsruhe im Süden. Im Folgenden wird der geologische Rahmen dargestellt.

1.1. Geologischer Rahmen

1.1.1. Der Oberrheingraben

1.1.1.1. Geographischer Überblick

Der Oberrheingraben (ORG) ist Teil einer überregionalen Graben- und Absenkungsstruktur, die STILLE (1925) als Mittelmeer-Mjösen-Zone bezeichnete und die heute als European Cenozoic Rift System (ECRIS) bekannt ist (GRIMM et al. 2011). Im Süden beginnt das ECRIS im Rhônegraben und setzt sich über den Bressegraben in den Limagnegraben und dann in den ORG fort (Abb. 1). Das System mündet im Westen durch den Niederrheingraben und im Osten durch die Hessische Senke in den Zentralgraben der Nordsee (GRIMM 1994).

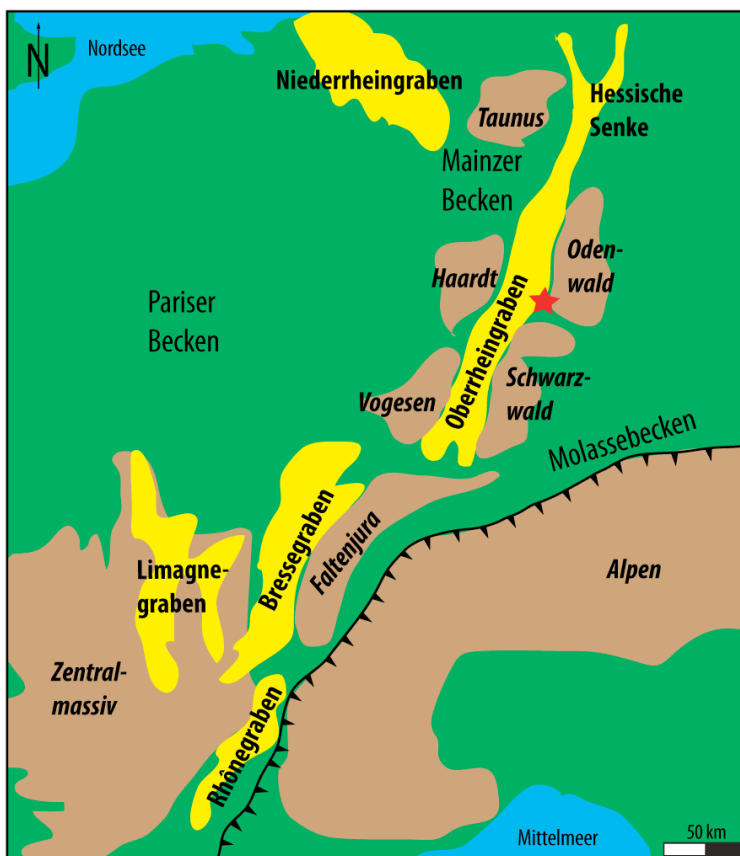


Abbildung 1: Lage des European Cenozoic Rift System (gelb); Stern = Lage des Arbeitsgebietes (nach DÉZES et al. 2004).

1. EINLEITUNG

Der ORG im engeren Sinn ist ein Teil des Rheingrabensystems. Er umfasst einen etwa 300 km langen und im Durchschnitt etwa 36 km breiten, SSW-NNO verlaufenden, paläogenen Grabenbruch zwischen dem Faltenjura im Süden und dem Taunus im Norden. Die Randstörungen an den Grabenschultern kennzeichnen klar den heutigen Grabenverlauf. Der ORG wird umrahmt vom Taunus im Norden, von Odenwald und Schwarzwald im Osten, vom nördlichsten alpinen Jura im Süden und von den Vogesen, der Haardt sowie dem Mainzer Becken im Westen (GRIMM et al. 2011).

1.1.1.2. Tektonische Entwicklung

Der heutige ORG ist das derzeitige Endstadium einer Entwicklung, die während des frühen bis mittleren Eozän begann (GRIMM et al. 2011). Die Absenkung des ORG erfolgte durch "Passives Rifting" in Reaktion auf den Abbau von Intraplattenspannungen durch die Kollisionsvorgänge im Alpenraum (SCHWARZ 2005). Das ECRIS entstand demzufolge durch die nach Norden gerichtete Kompression der Europa-Afrika-Konvergenz (ZIEGLER 1992).

Die tektonische Entwicklung führte im Grabenbereich zu einer Untergliederung in zahlreiche Schwellenregionen und Einzelbecken (Abb. 2). Vom Ypresium bis Bartonium (unteres bis mittleres Eozän) war der ORG durch die Colmar-, Ersteiner-, Haguenau- und Pfälzer-Stockstadt-Schwellen in die Mulhouse-, Sélestat-, Zorn- und Karlsruher Becken getrennt (Abb. 3). Das Mainzer und Hanau-Becken nördlich der Pfälzer-Stockstadt-Schwelle sind dabei gegenüber den südlich gelegenen Becken (Karlsruher-, Zorn-, Sélestat- und Mulhouse-Becken) bis in das Priabonium (spätes Eozän) durch eigenständige tektonische und sedimentäre Abfolgen charakterisiert (Abb. 4; GRIMM et al. 2011).

Im Priabonium bildeten sich dann im südlichen ORG durch die Veränderung der tektonischen Situation Graben- und Horststrukturen (Baseler Horst, Sierentz-Allschwill-Wolschwiller-Graben, Mulhouse-Horst, Dannemarie-Graben; vgl. Abb. 2). Durch sie wurde das ORG-Gebiet nach Südwesten verschlossen (USTASZEWSKI et al. 2005, GRIMM et al. 2011). Während der zweiten Rupeltransgression (Frühes Oligozän; vgl. Kap. 1.1.1.3.) wurden die im Priabonium angelegten Schwellenregionen weitgehend eingeebnet und es bildete sich ein neues Absenkungsgebiet, der Heidelberg-Mannheim-Graben (Abb. 3). Im Chattium (spätes Oligozän) sorgte der nach Norden gerichtete Vorschub der Alpen für eine Anhebung und Integration des südlichen ORG in das alpine Vorland (GRIMM et al. 2011). Diese Anhebung resultierte in der Entstehung des Schwarzwald-Vogesen-Doms (SVD) im Bereich des Kaiserstuhls (Abb. 3). Der SVD teilte den ORG bis in das Placenzium (spätes Pliozän) in einen südlichen und nördlichen Ablagerungsraum (GRIMM et al. 2011). Im Zentrum des Heidelberg-Mannheim-Grabens kam es durch den tektonischen Stress

der SVD-Bildung zu einer weiteren Absenkung und an den Grabenrandgebieten bildeten sich Staffelrandschollen (GRIMM et al. 2011). Eine weitere Anhebung des SVD erfolgte im Tortonium (spätes Miozän). Durch die Erosion der Deckschichten wurde der SVD in zwei Bergketten (Schwarzwald, Vogesen) getrennt und die Ur-Oberrhenebene entstand, welche vom Kaiserstuhl bis in das Mainzer Becken reichte (Abb. 3; SCHAD 1965, GRIMM et al. 2011). Die Anhebung des Faltenjura und des Bressegrabens im Süden des ORG trennte im Placenzium (spätes Pliozän) die Verbindung zwischen Bressegraben und ORG (GIAMBONI et al. 2004). Im Pliozän etablierte sich eine sinistrale Scherzone im ORG, welche bis heute besteht (vgl. Abb. 1; BARTZ 1974, GRIMM et al. 2011).

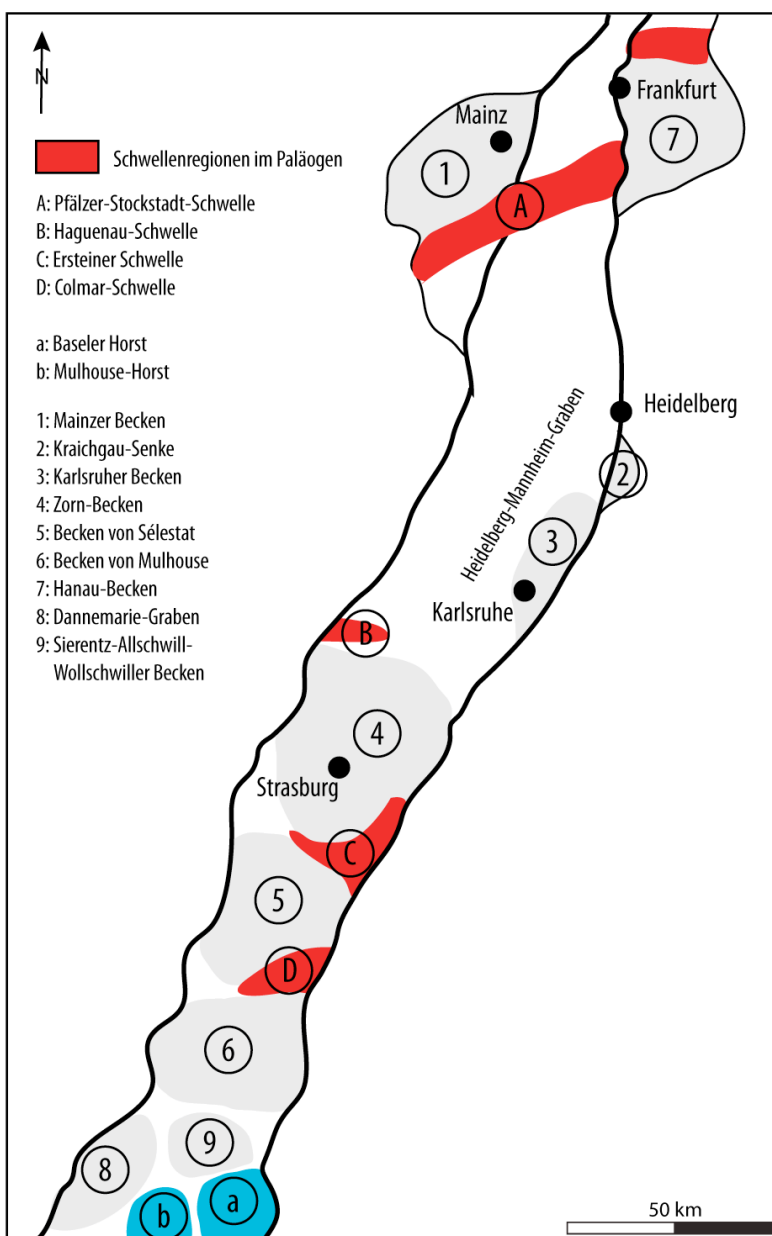


Abbildung 2: Untergliederung des ORG in Becken und Schwellen (vereinfacht nach GRIMM et al. 2011).

1. EINLEITUNG

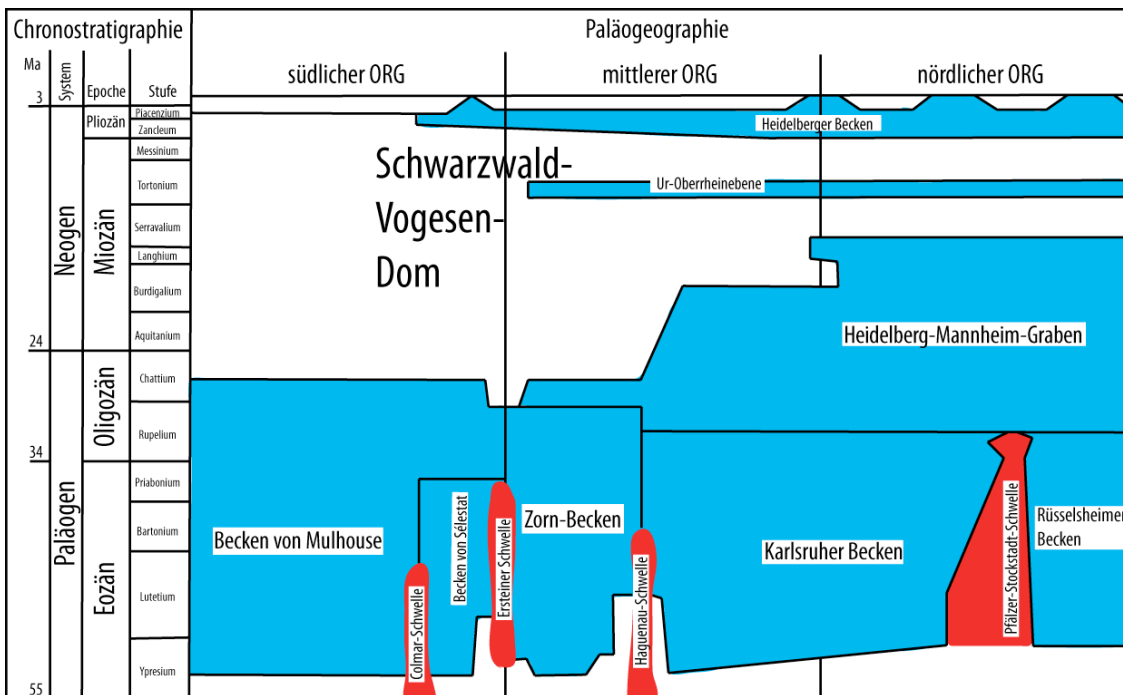


Abbildung 3: Chronostratigraphische Entwicklung der Beckenstrukturen des ORG in einem schematischen Längsschnitt (nach GRIMM et al. 2011).

1.1.1.3. Grabenfüllung

Die Füllung des ORG besteht aus eozänen bis quartären Sedimenten, die im Grabenzentrum bis zu 3500 m mächtig sind (DOEBL 1958). Als sedimentäre Abfolge im Liegenden der paläogenen Schichten werden triassische (Keuper) und jurassische (Lias, Dogger) Sedimente angenommen (z. B. SAUER 1898, THÜRACH & HERRMANN 1903, WAGNER-KLETT 1919, SCHWARZ 2005). Ablagerungen des oberen Jura bis zum unteren Eozän fehlen im ORG (SCHWARZ 2005).

Eozäne Sedimente

Die Sedimente des frühen Paläogens überlagern diskordant den mesozoischen Untergrund des ORG und bilden die Basis der Oberrhein-Gruppe. Während eines Zeitraumes vom Ypresium bis mittlerem Lutetium wurden zeitgleich die **Siderolith-Schichten** südlich und der **Eozäne Basiston** nördlich der Hagenau-Schwelle abgelagert (Abb. 4). Die Siderolith-Schichten umfassen bunte Verwitterungslehme mit tonigen Sandlagen und Bohnerz-Horizonten, deren Bildungsdauer nicht bekannt ist. Die bis zu 108 m mächtigen Sedimenten repräsentieren wahrscheinlich umgelagerte Verwitterungsprodukte mesozoischer Gesteine (GRIMM et al. 2011). Demgegenüber handelt es sich bei dem Eozänen Basiston um bunte Pelite. Sie wurden bereits vor der eigentlichen ORG-Bildung in tektonischen Gräben abgelagert und sind intensiv chemisch verwittert. Die Mächtigkeiten schwanken von wenigen Dezimetern bis hin zu einigen hundert Metern (GRIMM et al. 2011).

Der **Steingang** umfasst Blockschuttschüttungen aus bunten Brekzien und Konglomeraten und wird

dem Lutetium (mittleres Eozän) bis Rupelium (unteres Oligozän) zugeordnet. Diese Grobklastika sind nur an den Grabenrändern im äußersten Süden und Norden des ORG anzutreffen (Abb. 4; GRIMM et al. 2011). Sie repräsentieren ehemalige Hangschutt- und Schuttfächerablagerungen mit Mächtigkeiten von bis zu 200 m (DURINGER 1997).

Über der Oberrhein-Gruppe folgt die Hagenau-Gruppe, die von alt nach jung in die **Bouxwiller-**, die **Grünen Mergel-** und die **Rote Leitschicht-Formation** unterteilt wird (Abb. 4; GRIMM et al. 2011). Die limnisch-fluviatilen Sedimente der Hagenau-Gruppe wurden südlich der Pfälzer-Stockstadt-Schwelle vom mittleren Lutetium bis zum Priabonium abgelagert (GRIMM et al. 2011).

Die bis zu 14 m mächtigen Sedimente der Bouxwiller-Formation stammen aus dem mittleren Lutetium und umfassen fossilführende Kalke und Kalkmergel, Kohlemergel und Tone (Abb. 4; WIRTH 1969, BERGER et al. 2005a). Diese wurde in mehreren isolierten Seen abgelagert. Das Auftreten der entsprechenden Sedimente ist daher nur lokal (GRIMM et al. 2011).

Die etwa 900 m mächtigen Sedimente der Grünen Mergel-Formation wurden vom mittleren Lutetium bis ins mittlere Priabonium unter kontinental fluviatilen und limnischen Bedingungen abgelagert (Abb. 4; SCHWARZ 2005, GRIMM et al. 2011). Die Ablagerungen umfassen graue bis grünliche Tone und Kalk- bis Dolomitmergel mit zwischengelagerten Salzen und Anhydriten (GRIMM et al. 2011).

Die roten Dolomit- bis Tonmergel der Roten Leitschicht-Formation sind bis zu 50 m mächtig (SCHNAEBELE 1948). Nach einer Ingression im Priabonium bildeten sich diese lagunären Sedimente im südlichen und mittleren ORG; hierbei kam es zur Verlandung und zur Ausbildung von brackischen und hypersalinen Bedingungen. Folglich fehlen die Sedimente der Roten Leitschicht auf den Schwellen im ORG (Abb. 4; GRIMM et al. 2011).

Die Eozän-Oligozän-Grenze fällt in die **untere Pechelbronn-Formation** der Pechelbronn-Gruppe, deren Ablagerung im mittleren Priabonium begann (Abb. 4). Es handelt sich um eine Wechselfolge aus grauen, bunten Dolomitmergeln mit Pflanzenhäcksel, Silt- und Sandsteinen sowie Tonsteinen und Anhydritlagen (GRIMM et al. 2011). Diese zwischen einigen Zehner- und mehreren Hundertmetern mächtigen limnischen bis marinen Sedimente sind verzahnt mit fluviatil-terrestrischen Ablagerungen (DOEBL 1967, WIRTH 1969, GRIMM et al. 2011). Die untere Pechelbronn-Formation wird durch die Pfälzer-Stockstadt-Schwelle in einen nördlichen und einen südlichen Ablagerungsbereich getrennt (Abb. 4; GRIMM et al. 2011).

1. EINLEITUNG

Oligozäne Sedimente

Im unteren Rupelium folgt auf die untere Pechelbronn-Formation die **mittlere Pechelbronn-Formation**, die eine Wechselfolge aus feingeschichteten, bunten und z.T. fossilführenden Mergeln bis Kalkmergeln umfasst (Abb. 4; GRIMM et al. 2011). Die bis zu 145 m mächtigen Sedimente wurden während der ersten Rupeltransgression abgelagert, als das paläogene Nordmeer über die Hessische Senke in den ORG eindrang (GRIMM & GRIMM 2003, BERGER et al. 2005a).

Die **obere Pechelbronn-Formation** repräsentiert eine regressive Phase im mittleren Rupelium und umfasst eine Wechselfolge aus grauen bis bunten Dolomitmergeln, Silt- bis Sandsteinen sowie Gips- und Salzflözen (GRIMM et al. 2011). Die Ablagerungen der oberen Pechelbronn-Formation sind im gesamten ORG verbreitet und bis zu 411 m mächtig (Abb. 4; SCHNAEBELE 1948).

Über der Pechelbronn-Gruppe folgt im mittleren Rupelium die Stockstadt-Gruppe, welche in die Froidefontaine-, Elsass- und Worms-Formation unterteilt wird (Abb. 4; GRIMM et al. 2011). Die Froidefontaine-Formation wird separat in Kap. 1.1.3. behandelt.

Zu Beginn des Rupelium kühlte sich das Klima weltweit ab und in der Antarktis kam es zu ersten Vereisungen (STANLEY 2001). Durch den weltweiten glazieostatischen Abfall des Meeresspiegels riss die Meeresverbindung des ORG zum Nordmeer im Laufe des Rupelium immer wieder ab. Die Sedimente der Elsass-Subgruppe, welche in die **Elsässer Molasse-, Niederrödern- und Tüllingen-Formation** unterteilt wird, wurden im gesamten ORG abgelagert (Abb. 4; GRIMM et al. 2011). In Deutschland wird die Elsass-Subgruppe dem höchsten Rupelium zugeordnet und umfasst eine Wechselfolge aus Glimmersanden und Mergeln (GRIMM et al. 2011). Die Sedimente sind im ORG in Deutschland wenige Meter bis mehrere Hundert Meter mächtig und wurden von den Alpen auf fluviatilen und terrestrischen Weg in den südlichen ORG transportiert (WITTMANN 1950, GRIMM et al. 2011).

Die glimmerführenden Mergel der Elsässer Molasse-Formation wurden lediglich im Mulhouse-Dannemarie-Becken und in weiteren südlich gelegenen Paläogenbecken während des Rupelium abgelagert (Abb. 3, 4). Die Sedimente wurden sowohl terrestrisch als auch fluviatil von den Alpen in den südlichen ORG transportiert und verzahnen dort mit der Pechelbronn-Gruppe und der Froidefontaine-Subgruppe (GRIMM et al. 2011).

Die Niederrödern-Formation umfasst eine Wechselfolge aus bunten Mergeln und Sanden und beginnt im höchsten Rupelium (Abb. 4). Sie reicht wahrscheinlich bis ins Chattium (oberes Oligozän; GRIMM et al. 2000). Die durchschnittlich 200 m mächtigen Sedimente entstanden in einer durch Flüsse verbundenen Seenlandschaft in einem fluviatil-limnischen Milieu. Sie sind weitflächig im gesamten ORG verbreitet (BERGER et al. 2005a, GRIMM et al. 2011).

Die Tüllingen-Formation spiegelt die Wechselwirkungen von Beckensenkung und -verlandung

während des frühen bis mittleren Chattium im südlichen ORG wieder (Abb. 4). Dies zeigt sich in den ca. 165 m mächtigen Wechsellagerungen aus Süßwasserkalken, Travertinen, Kalk- und Tonmergeln, die sowohl unter limnischen als auch terrestrischen Bedingungen abgelagert wurden (RIVELINE et al. 1996, GRIMM et al. 2011).

Auf die Sedimente der Niederrödern-Formation folgen im mittleren und nördlichen ORG die Ablagerungen der Worms-Subgruppe, welche in das obere Chattium gestellt werden. Die bituminösen Ton- bis Tonmergel repräsentieren die brackisch-marinen Bedingungen eines Restmeeres, das nur kurzzeitig mit dem Nordmeer verbunden war (GRIMM 2005, BERGER et al. 2005a, GRIMM et al. 2011). Die Worms-Subgruppe wird in die **untere**, **mittlere** und **obere Cerithium-Formation** sowie in die **inflata-** und **Hydrobia-Formationen** unterteilt (Abb. 4; GRIMM et al. 2011). Die *Cerithium*-Formation wurde nach einer marinen Nadelschnecken-Gattung benannt, die *inflata-* und *Hydrobia*-Formation erhielten ihre Namen nach Wattschnecken (RASSER et al. 2008).

Die 60 bis 250 m mächtigen Sedimente der unteren *Cerithium*-Formation wurden im späten Chattium während einer Transgression abgelagert (Abb. 4). Die tonigen bis kalkigen Mergel zeichnen sich durch eingeschaltete Ostrakoden-Massenlagen aus (HARDENBOL et al. 1998, GRIMM & GRIMM 2003).

Die mittlere *Cerithium*-Formation wird in das oberste Chattium eingestuft (Abb. 4; GRIMM et al. 2011). Die bituminösen Mergel mit eingeschalteten Dolomit- und Anhydritbänken wurden während einer regressiven Phase in einem Binnenmeer abgelagert. Die mittlere *Cerithium*-Formation ist 65 bis 400 m mächtig (GRIMM & GRIMM 2003, GRIMM et al. 2011).

Die Oligozän-Miozän-Grenze fällt in den Ablagerungszeitraum der oberen *Cerithium*-Formation (Abb. 4; RASSER et al. 2008).

Miozäne Sedimente

Die Sedimente der oberen *Cerithium*-, der *inflata*- und der *Hydrobia*-Formation, die insgesamt bis zu 1000 m mächtig sind, wurden im mittleren und nördlichen ORG abgelagert (Abb. 4). Während des späten Chattium bis Buralium herrschten dort limnisch-brackische Verhältnisse eines Restmeeres, welches kurzfristig mit der Ur-Nordsee verbunden war (GRIMM et al. 2011).

Die Ried-Gruppe umfasst die **Groß-Rohrheim**-, **Weiterstadt**-, **Sasbach**- und **Iffezheim-Formation** (Abb. 4). Im nördlichen ORG folgt über der *Hydrobia*-Formation die Groß-Rohrheim-Formation und über dieser die Weiterstadt-Formation. Die überlagerende Sasbach-Formation ist im südlichen ORG durch eine Erosionsdiskordanz von den liegenden Gesteinen getrennt. Die Iffezheim-Formation wird bereits in das Pliozän gestellt (GRIMM et al. 2011).

1. EINLEITUNG

Die mergelig-sandigen Süßwassersedimente der Groß-Rohrheim-Formation wurden im nördlichen ORG und im Heidelberg-Mannheim-Graben während des Aquitanium und Burdigalium abgelagert (Abb. 4). Es handelt sich um limnische Sedimente von bis zu 200 m Mächtigkeit (BOIGK 1981, GRIMM et al. 2011).

Als Weiterstadt-Formation werden im Heidelberg-Mannheim-Graben alle miozänen Sedimente zwischen der Groß-Rohrheim- und der Iffezheim-Formation bezeichnet (Abb. 4). Das Ablagerungsmilieu der bis zu 130 m mächtigen Sedimente ist limnisch-fluviatil. Grünalgen sind in der tonigen Abfolge häufig. Es kommen Braunkohleflöze, Brauneisen- und Kalkmergelsteine vor (GRIMM et al. 2011).

Die bis zu 30 m mächtigen, limnisch-fluviatilen Abfolgen der Sasbach-Formation wurden nur im südlichen ORG nachgewiesen (Abb. 4). Sie umfassen Mergel und Kalksandsteinlagen sowie Tuffit-Einschaltungen (GRIMM et al. 2011). Der Tuff wird den vulkanischen Aktivitäten des Kaiserstuhls zugeordnet (JÖRG 1951, GRIMM et al. 2011).

Der bis zu 7 m mächtige Schotter der **Juranagelfluh-Formation** wird in das obere Miozän gestellt (Serravalium bis Tortonium). Bei den schlecht sortierten und matrixgestützten Grobklastika handelt es sich um aufgearbeitetes Sediment, das in einem Zeitraum vom Aalenium (mittlerer Jura) bis Oxfordium (später Jura) im südlichen ORG anstand (Abb. 4). Die fluviatilen Sedimente sind auf die Aktivität der Ur-Kander zurückzuführen. Sie sind durch das Schwermineral- und Geröllspektrum sowie durch den Rundungsgrad von den jüngeren Heuberg-Schottern leicht zu trennen (GRIMM et al. 2011).

Bei der **Dinotherien-Sand-** oder **Eppelsheim-Formation** handelt es sich um kiesführende Sande mit Kieseloolithgeröllen, die auf den Ur-Rhein zurückzuführen sind (Abb. 4). Die bis zu 18 m mächtigen fluviatilen Ablagerungen entstanden im Tortonium und sind durch Erosionsdiskordanzen im Liegenden und Hangenden klar von anderen Einheiten abgegrenzt (GRIMM 2005, GRIMM et al. 2011).

Pliozäne Sedimente

Die jüngste Formation der Ried-Gruppe, die Iffezheim-Formation, wurde im gesamten ORG abgelagert und ist von den liegenden Sedimenten durch eine Erosionsdiskordanz getrennt (Abb. 4). Diese limnisch-terrestrischen bis fluviatilen Sedimente wurden vom Piacenzium (spätes Pliozän) bis in das Gelasium (frühes Pleistozän) abgelagert. Es handelt sich um mehrere Hundert Meter mächtige distale Schwemmfächer, die von Bodenbildungen überprägt sind (ELLWANGER et al. 2008, HOSELMANN 2008, GRIMM et al. 2011).

Die Lithologien der **Heuberg-** und der **Tüllingen-Berg-Formation** sind in Abhängigkeit von den

Liefergebieten sehr verschieden. Die unterschiedlichen Korngrößen dieser Grobklastika deuten auf schwankende Strömungsgeschwindigkeiten der transportierenden Wasserkörper hin. Die Entwässerung erfolgte aus den Vogesen und dem Schwarzwald nach Süden (GRIMM et al. 2011).

Pleistozäne Sedimente

Seit Beginn des jüngsten Eiszeitalters wurden mächtige Schotterterrassen und äolischer Löss im ORG abgelagert (LORENZ 2002). Die Alpen sind das größte Liefergebiet dieser jüngsten Grabenfüllungen. Es werden aber auch von den Randgebieten Klastika eingebracht (SCHWARZ 2005, GEYER & GWINNER 2011).

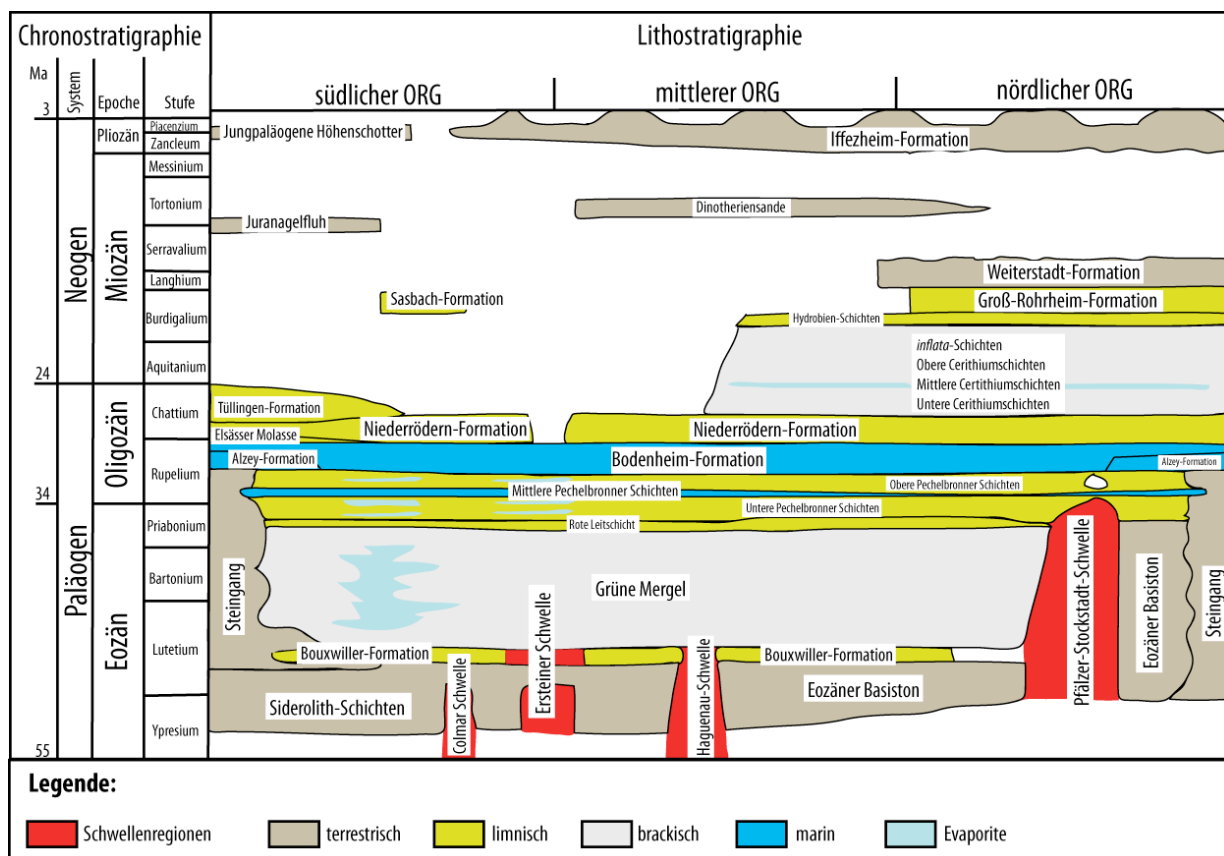


Abbildung 4: Chronostratigraphische Einstufung der paläogenen und neogenen Sedimente im ORG (nach GRIMM et al. 2011).

1. EINLEITUNG

1.1.2. Die Stratigraphie des Oligozäns

Nach der Einführung des Oligozäns als erdgeschichtliche Serie durch Heinrich Ernst Beyrich im Jahre 1857 war es üblich, die Epoche von alt nach jung in drei Stufen zu unterteilen: Latdorfium, Rupelium und Chattium. SPANDEL (1909) unterteilte das Rupelium erstmals in das untere, mittlere und obere Rupelium. 1980 beschloss die International Commission on Stratigraphy (ICS) eine Zweiteilung des Oligozäns in das Rupelium und das Chattium (VAN SIMAEYS & VANDENBERGHE 2006).

Die Untergrenze des Oligozäns und damit des Rupeliums ist anhand des Aussterbens der planktischen Foraminiferen-Gattungen *Hantkenina* und *Cribohantkenina* festgelegt (PREMOLI-SILVA & JENKINS 1993). Radiometrisch wird die Grenze auf 34 Millionen Jahre datiert (PREMOLI-SILVA & JENKINS 1993). Die Grenze des Rupeliums zum Chattium wird am letzten Auftreten der planktischen Foraminiferen-Art *Chiloguembelina cubensis* PALMER 1934 festgelegt und ist radiometrisch auf 29 Millionen Jahre datiert (LUTERBACHER et al. 2004). Die Obergrenze des Oligozäns und damit gleichzeitig die des Chattiums ist durch das Erstauftreten des kalkigen Nannoplankton-Elementes *Sphenolithus capricornutus* BUKRY 1985 und radiometrisch auf 23 Millionen Jahre festgelegt (LOURENS et al. 2004).

Rupelium

Die Stufe des Rupeliums wurde 1849 von André Hubert Dumont anhand der Sables de Boom („Sande von Boom“) am Flösschen Rupel, einem Nebenfluss der Scheide, südöstlich von Antwerpen definiert. Der Stratotyp befindet sich im Belgischen Becken im Norden Belgiens (Abb. 5; VAN SIMAEYS & VANDENBERGHE 2006).



Abbildung 5: Geographische Lage von Boom in Belgien.

Kalkiges Nannoplankton bildet im Rupelium die Zonen NP 23 bis NP 24 (Abb. 6). Es verschwinden die Coccolithen-Arten *Ericsonia subdisticha* ROTH & HAY 1967 und *Reticulofenestra umbilicus* LEVIN 1965. Es erscheinen *Sphenolithus distentus* MARTINI 1965 und *S. ciperoensis* BRAMLETTE & WILCOXON 1967 (VAN SIMAEYS et al. 2004, MAXWELL et al. 2016).

Im Rupelium entsprechen D 13, D 14 und D 15 den Dinoflagellaten-Zysten-Zonen (Abb. 6). Es verschwinden die Zysten von *Areosphaeridium diktyoplokum* KLUMPP 1953, *Spinifertis* sp. sowie *Enneadocysta arcuata* EATON 1971. Neu erscheinen *Chiropteridium galea* MEIER 1959, *Wetzeliella gochtii* COSTA & DOWNIE 1976, *Apteodinium spiridoides* BENEDEK 1972 und *Saturnodinium pansum* STOVER 1977 (MAXWELL et al. 2016).

Das Rupelium entspricht der europäischen Säugerzone des Suevium mit den Biozonen MP 21 bis MP 25 (Abb. 6). Der Beginn von MP 21 wird durch den „Grand Coupure“ festgelegt, einem markanten Fauenschnitt in Europa (COSTA et al. 2011). Es verschwinden aufgrund einer Abkühlung in Europa die Ordnungen Leptictida und Mesonychia sowie einige Familien der Apathotheria, Paarhufer (Artiodactyla), Raubtiere (Carnivora), Wale (Cetacea), Insektenfresser (Insectivora), Tapire (Tapiroidea) und Nagetiere (Rodentia). Des Weiteren sterben das Urraubtier *Pterodon* (Creodonta), das Rüsseltier *Barytherium* (Proboscidea), das Raubtier *Cynodictis* (Arctoidea) sowie das Pferd *Plagiolophus ministri* BRUNET & JEHENNE 1969 (Equidae) aus. Dagegen wanderten Nashörner (Rhinocerotidae), Schleickkatzen (Viverridae) und Spitzmäuse (Soricidae) aus Asien ein (HOOKER et al. 2004).

Oligozän	Oberes Oligozän		Unteres Oligozän		Ma					
	Beyrich (1857)	Spandel (1909)	ICS (1980)	Grimm (1994)	Grimm et al. (2011)	Maxwell et al. 2016				
	Nanno-plankton-Zone	Dinocysten-zone	Europäische Säuger-Zone							
	Chattium	Chattium	Chattium	Chattium	Chattium	NP 25	D 15	c	MP 26	27
		</								

Abbildung 6: Stratigraphie des Oligozäns.

1. EINLEITUNG

1.1.3. Die Froidefontaine-Subgruppe

1.1.3.1. Definition und Synonyme

Im ORG besteht die Abfolge des Rupeliums aus marin-brackischen Ton- und Mergelabfolgen mit Sand- und Kieseinschüttungen der Froidefontaine-Subgruppe. Sie überlagert die Pechelbronn-Gruppe und unterlagert die Niederrödern-Formation (GRIMM et al. 2011; vgl. Kap. 1.1.1.3.)

Die Froidefontaine-Subgruppe wurde von früheren Bearbeitern als „Rupelton“ oder aufgrund der häufig vorkommenden Mergelstein-Konkretionen (Septarien) auch als „Septarienton“ bezeichnet (REUSS 1853, WEINKAUF 1860, ANDREAE 1887, STOLTZ 1906). DOEBL 1967 und nachfolgende Autoren nannten die rupelischen Ablagerungen im ORG „Graue Schichtenfolge“ und heute ist „Froidefontaine-Subgruppe“ die übliche Bezeichnung für die rupelischen Sedimente im ORG (GRIMM 2005).

1.1.3.2. Untergliederung

Die Froidefontaine-Subgruppe wird im ORG in die **Bodenheim-**, die **Meletta-** (benannt nach der Clupeidae-Gattung *Meletta*, heute *Sardinella*) und die **Cyrenenmergel-Formation** (benannt nach einer Muschelgattung, heute *Ostrea*) unterteilt (vgl. Abb. 4; GRIMM 2005).

Die Bodenheim-Formation wird wiederum in die Wallau-, Hochberg- und Rosenheim-Subformation gegliedert (GRIMM et al. 2011).

Die Wallau-Subformation wird in das tiefere Niveau „Marnes à Foraminifères inférieures“ und das höhere Niveau „Marnes à Foraminifères supérieures“ unterteilt (DOEBL 1976, GRIMM et al. 2011).

Eine Unterteilung der Hochberg-Subformation wurde aufgrund der Befunde von Bohrungen im südlichen Mainzer Becken durchgeführt (GRIMM 1991). Die artenreiche Fauna der Wallau-Subformation setzt sich im Liegenden der Hochberg-Subformation fort und geht ins Hangende in eine artenärmere Fauna über. Der untere, faunenreiche Bereich der Hochberg-Subformation wird als Fischechiefer A (FS A) und der obere, faunenarme Bereich wird als Fischechiefer B (FS B) bezeichnet (GRIMM 1991). Basierend auf der Häufigkeitsverteilung und Diversität von Foraminiferen werden diese beiden Fischechiefer-Bereiche in jeweils drei Unterbereiche weiter unterteilt: der Fischechiefer A in FS 1 bis 3 und der Fischechiefer B in FS 4 bis 6.

FS 1 wird an dem Auftreten von *Palmula? obliqua* RÖMER 1838 und *Spiroplectinella deperdita* D'ORBIGNY 1846 definiert und enthält die Durchläuferarten *Bathysiphon taurinesis* SACCO 1893, *Cyclamina placenta* REUSS 1851, *Bolivina beyrichi* REUSS 1851, *Nodosaria ewaldi* REUSS 1851 und *Hansenisca soldanii* D'ORBIGNY 1826 (Abb. 7; GRIMM 1994).

FS 2 ist durch *Planorbulina difformis* RÖMER 1838 charakterisiert und enthält Massenvorkommen von *Bolivina beyrichi* REUSS 1851 und *Nodosaria ewaldi* REUSS 1851. Des Weiteren kommen die Durchläuferarten *Hansenisca soldanii* D'ORBIGNY 1826, *Bathysiphon taurinesis* SACCO 1893 und *Cyclammia placenta* REUSS 1851 vor (Abb. 7; GRIMM 1994).

FS 3 ist von FS 2 schwer zu trennen, da in beiden Abschnitten *Pygmaeoseistron hispidum* REUSS 1863 und die gleichen bereits genannten Durchläuferarten vorkommen (Abb. 7; GRIMM 1994).

FS 4 ist faunenarm und die Durchläuferarten *Bathysiphon taurinesis* SACCO 1893 und *Cyclammia placenta* REUSS 1851 sind selten (Abb. 7; GRIMM 1994).

FS 5 mit den Durchläuferarten *Bathysiphon taurinesis* SACCO 1893, *Cyclammia placenta* REUSS 1851, *Bolivina beyrichi* REUSS 1851, *Nodosaria ewaldi* REUSS 1851, *Hansenisca soldanii* D'ORBIGNY 1826 und ist wieder artenreicher. Gelegentlich tritt die aus der Rosenberg-Subformation bekannte Art *Vaginulopsis hauerina* D'ORBIGNY 1846 auf (Abb. 7; GRIMM 1994).

FS 6 ist wiederum sehr faunenarm und die Durchläuferarten *Bathysiphon taurinesis* SACCO 1893 und *Cyclammia placenta* REUSS 1851 sind sehr selten (Abb. 7; GRIMM 1994).

Die Grenze zwischen FS A und FS B respektive zwischen FS 3 und FS 4 wird zudem am Erstauftreten von Kiemenreusendornen der Riesenhaigattung *Keasius* (Cetorhinidae) festgemacht (GRIMM et al. 2000).

Die Rosenheim-Subformation wird im Mainzer Becken mikropaläontologisch in drei Biozonen unterteilt. Im ORG wurde nur die Globigerinidae-Miliolidae-Häufigkeitszone belegt, die bereits den Übergang zu der *Meletta*-Formation darstellt (GRIMM 2002).

Eine eingeschaltete Braunkohlelage teilt die Cyrenenmergel-Formation in einen unteren und oberen Abschnitt (GRIMM et al. 2011).

1. EINLEITUNG

FS B	sehr faunenarm <i>Bathysiphon taurinesis</i> <i>Cyclammina placenta</i>	FS 6
	<i>Vaginulopsis hauerina</i> <i>Bathysiphon taurinesis</i> <i>Cyclammina placenta</i> <i>Bolivina beyrichi</i> <i>Nodosaria ewaldi</i> <i>Hansenisca soldanii</i>	FS 5
	sehr faunenarm <i>Bathysiphon taurinesis</i> <i>Cyclammina placenta</i>	FS 4
FS A	<i>Pygmaeoseistron hispidum</i> <i>Bathysiphon taurinesis</i> <i>Cyclammina placenta</i> <i>Bolivina beyrichi</i> <i>Nodosaria ewaldi</i> <i>Hansenisca soldanii</i>	FS 3
	<i>Planorbulina difformis</i> <i>Pygmaeoseistron hispidum</i> <i>Bathysiphon taurinesis</i> <i>Cyclammina placenta</i> <i>Bolivina beyrichi</i> <i>Nodosaria ewaldi</i> <i>Hansenisca soldanii</i>	FS 2
	<i>Spiroplectinella deperdita</i> <i>Palmula? olivacea</i> <i>Bathysiphon taurinesis</i> <i>Cyclammina placenta</i> <i>Bolivina beyrichi</i> <i>Nodosaria ewaldi</i> <i>Hansenisca soldanii</i>	FS 1

Abbildung 7: Mikropaläontologische Untergliederung des Fischschiefers (Hochberg-Subformation; nach GRIMM 1991).

1.1.3.3. Lithologie

Die Froidefontaine-Subgruppe besteht aus einer Wechselfolge aus bituminösen, dunkelgrauen Tonsteinen bis Tonmergeln mit lokal eingeschalteten Feinsandsteinen (GRIMM et al. 2011).

Bodenheim-Formation: Die grauen, mäßig geschichteten Tonmergel und Mergel mit wechselndem Feinsand-Silt-Gehalt der Wallau-Subformation werden als Foraminiferenmergel bezeichnet (GRIMM et al. 2011). Die Sedimente sind horizontweise bioturbiert und enthalten häufig Pyrit sowie

sekundär gebildete Gipskristalle (WEBER 1951). Lokal treten Septarien auf (TRUNKÓ & MUNK 1998).

Der bituminöse Fischechiefer der Hochberg-Subformation besteht aus fein geschichteten, dunkelgrauen Tonmergeln (BERGER et al. 2005b, GEYER & GWINNER 2011). Lokal treten Septarienlagen auf. Der Fischechiefer ist reich an Pyrit. Die häufigsten Tonminerale sind Illit, Glaukonit und Montmorillonit (GRIMM et al. 2011).

Die Rosenberg-Subformation (Oberer Rupelton) umfasst geschichtete, graue Tone bis Tonmergel mit einem Siltanteil und Feinsandlagen und ähnelt lithologisch dem Fischechiefer der Hochberg-Subformation (GRIMM et al. 2011).

Meletta-Formation: Es handelt sich um feinkörnige und mergelige Sandsteine, Tonmergel und Mergel (GRIMM et al. 2011).

Cyrenenmergel-Formation: Die umgeschichteten Abfolgen von grauen bis grauolivnen Tonmergeln, Mergeln und Silten enthalten vereinzelt Feinsandeinschaltungen, Konkretionshorizonte und Braunkohlelagen (GRIMM et al. 2011).

1.1.3.4. Alter und Abgrenzungen

Bodenheim-Formation: Die jüngste Formation der Froidefontaine-Subgruppe wird in das mittlere Rupelium gestellt (vgl. Abb. 6). Das Alter der Wallau-Subformation fällt nach MAXWELL et al. (2016) in die Nannoplankton-Zone NP 22, die vom unteren bis ins mittlere Rupelium reicht. Die Hochberg-Subformation wird in die Nannoplanktonzone NP 23 gestellt. Die Grenze NP 23/NP 24 liegt in der Rosenberg-Subformation (GRIMM 1994).

Meletta-Formation: Die *Meletta*-Formation wird in die Nannoplankton-Zone NP 24 im späten Rupelium eingestuft (MARTINI & MÜLLER 1971). Nach der Foraminiferenzonengliederung durch GRIMM (2002) fällt die *Meletta*-Formation vollständig in die Globigerinidae-Milliolidae-Häufigkeitszone (GRIMM et al. 2011).

Cyrenenmergel-Formation: Da diese Formation keine auswertbare marine Mikrofauna enthält, erfolgt eine stratigraphische Einordnung über die Korrelation mit Abschnitten der Sulzheim-Formation im Mainzer Becken. Dies ergab eine Stellung in das späte Rupelium (GRIMM et al. 2011).

Lithologisch ist die Untergrenze der Froidefontaine-Subgruppe durch einen Wechsel von den bunten Tönen und Mergeln der Pechelbronn-Gruppe zu den braungrauen Tönen und Tonmergel der Bodenheim-Formation definiert (GRIMM et al. 2011).

An der Grenze der Wallau-Subformation zu der hangenden Hochberg-Subformation zeigt sich ein Wechsel von grünlichgrauen bis braunen zu dunkelgrauen bis schwarzen Tönen mit einem hohen

1. EINLEITUNG

Bitumengehalt. Die Sedimente der Hochberg-Subformation zeichnen sich zudem durch einen geringeren Kalkgehalt aus (GRIMM et al. 2011).

Im zentralen ORG ist die Trennung zwischen Hochberg- und Rosenberg-Subformation nicht aufrecht zu erhalten, da die beiden Formationen dort lithofaziell sehr ähnlich sind und nur auf Basis mikropaläontologischer Befunde auseinander gehalten werden können (GRIMM et al. 2011). Die Grenze des Fischeschiefers zum „Oberen Rupelton“ ist durch das Erstauftreten der Foraminiferen-Unterart *Spiroplectammina carinata intermedia* D'ORBIGNY 1846 gekennzeichnet (GRIMM 1991).

Die glimmerhaltigen und sandigen Schichten der *Meletta*-Formation sind leicht von den unter liegenden dunklen Tönen der Bodenheim-Formation zu trennen; sie sind zudem durch erste Sandeinschüttungen und die Zunahme von Makrofossilresten gekennzeichnet (GRIMM et al. 2011).

Die Obergrenze der *Meletta*- zur Cyrenenmergel-Formation ist nur anhand des erhöhten Sand- und Glimmergehaltes der *Meletta*-Formation erkennbar (GRIMM et al. 2011).

Die obere Grenze der Froidefontaine-Subgruppe von den grauen bis olivfarbenen Tonmergeln der Cyrenenmergel-Formation zu den bunten Mergeln der Niederröden-Formation oder zu den Sanden und Kalkmergel der Elsässer Molasse-Formation ist lithologisch leicht zu erkennen (GRIMM et al. 2011). Im südlichen ORG verzahnt die Cyrenenmergel-Formation mit der Elsässer Molasse-Formation (GEYER & GWINNER 2011).

1.1.3.5. Verbreitung und Mächtigkeit

Die Sedimente der Froidefontaine-Subgruppe wurden im gesamten ORG und seinen Randbereichen abgelagert (GRIMM et al. 2011). Die Gesamtmächtigkeiten der Ablagerungen erreichen mehrere Hundert Meter.

Die Sedimente der Bodenheim-Formation erreichen Mächtigkeiten von insgesamt bis zu 100 m. Hierbei fallen bis zu 40 m jeweils auf die Wallau- und die Hochberg-Subformation, wohingegen die Rosenberg-Subformation bis zu 20 m Mächtigkeit erreicht (GRIMM 1994, GRIMM et al. 2011). Die Schichten der *Meletta*- und der Cyrenenmergel-Formation erreichen jeweils bis zu 300 m Mächtigkeit (GRIMM et al. 2011).

1.1.3.6. Paläogeographie und Bildungsbedingungen

Der ORG wurde im Laufe des Oligozäns von der Ur-Nordsee her über das Mainzer Becken und die Hessische Senke mehrfach durch glazieustatischen Meeresspiegelschwankungen geflutet (Abb. 8). Die marine Verbindung zwischen dem ORG über die Hessische Senke ins Nordmeer gilt dabei als gesichert (WENZ 1921, WAGNER 1925, WEILER 1952, 1956, 1966, MICKLICH 1998, SISSINGH 1998,

GRIMM 2002). Demgegenüber wird eine Verbindung zum protomediterranen Becken und dem Molassemeer im Süden kontrovers diskutiert (WENZ 1921, WAGNER 1925, WEILER 1952, 1956, 1966, DOEBL & TEICHMÜLLER 1979, BÜCHI 1983, SITTLER 1992, MICKLICH & PARIN 1996, MICKLICH 1998, SISSINGH 1998, BERGER et al. 2005a, GRIMM 1994, 2002, 2006).



Abbildung 8: Paläogeographische Situation in Zentral- und Südeuropa während des frühen Oligozäns (nach MICLAUS et al. 2007).

Für das Rupelium werden drei Transgressionsphasen in den ORG angenommen (BERGER et al. 2005a). Die erste Transgression erfolgte im frühen Rupelium von der Ur-Nordsee her und korreliert mit den Mittleren Pechelbronner Schichten (vgl. Kap. 1.1.1.3.; GRIMM et al. 2011). Sie führte zu brackisch-marinen Verhältnissen. Zu dieser Zeit bestand keine Verbindung zum Molassebecken am Alpennordrand, welches während des Rupeliums ein Nebenmeer der Paratethys darstellte (Abb. 9; BERGER et al. 2005a, SISSINGH 2003).

Im mittleren Rupelium wurde die Verbindung zwischen der Ur-Nordsee und dem ORG unterbrochen und es kam im nördlichen Abschnitt zur Ablagerung lakustriner Beckensedimente. Im südlichen ORG bildeten sich zeitgleich die Evaporite der oberen Pechelbronn-Formation (Abb. 10; BERGER et al. 2005a, GRIMM et al. 2011).

1. EINLEITUNG

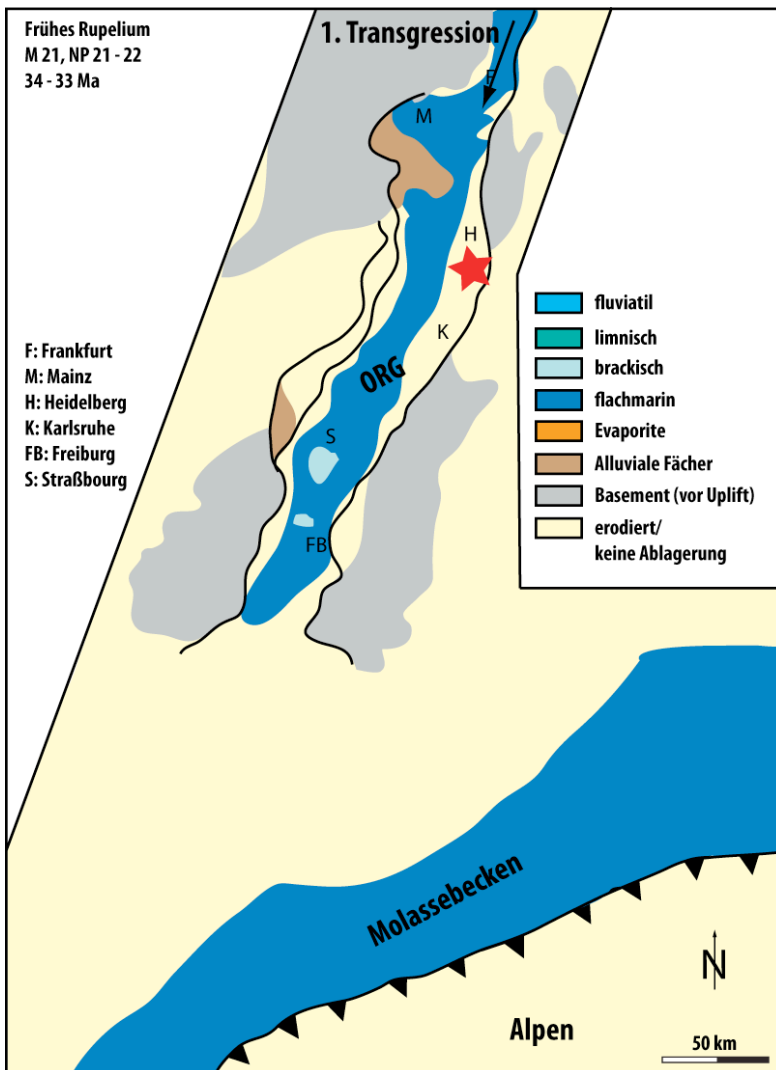


Abbildung 9: Paläogeographische Karte des ORG zur Zeit des frühen Rupelium (roter Stern = Lage des Arbeitsgebietes; verändert nach BERGER et al. 2005a).

Zwei weitere Transgressionen (2 und 3) führten im späten Rupelium zu vollmarinen Verhältnissen im ORG. Die entsprechenden Ablagerungen werden als Froidefontaine-Subgruppe bezeichnet (vgl. Kap. 1.1.3.; Abb. 11). Die Transgressionen waren durch einen globalen, glazieustatischen Meeresspiegelanstieg und die intensive Subsidenz des ORG bedingt (BERGER et al. 2005a). Sie führten zu einer marinen Verbindung zwischen dem ORG und dem alpinen Molassebecken (BERGER et al. 2005a). Auf der Grundlage von Foraminiferenvergesellschaftungen wurden die Vorstellungen über die Südverbindung des Rupelmeeres zur Paratethys zuletzt mehrfach revidiert und nicht abschließend geklärt (z. B. GRIMM 1994, 2002, 2006).

Die karbonatischen Tone der Wallau-Subformation wurden zu Beginn der zweiten Rupeltransgression in einem vollmarinen und gut durchlüfteten Milieu abgelagert (BERGER et al. 2005a, GRIMM et al. 2011).

Der bituminöse, mergelige Fischschiefer der Hochberg-Subformation wurde in einem vollmarinen Milieu abgelagert (GRIMM et al. 2011). Das Liegende der Hochberg-Subformation (FS A) spiegelt den Meeresspiegelstand nach der zweiten Rupeltransgression wider, während das Hangende (FS B) mit der dritten Rupeltransgression korreliert (GRIMM 1991).

Durch die dritte Rupeltransgression zu Beginn der Ablagerung des FS B kam es zu einem erneuten Meeresspiegelanstieg im ORG (Abb. 11; GRIMM et al. 1999).

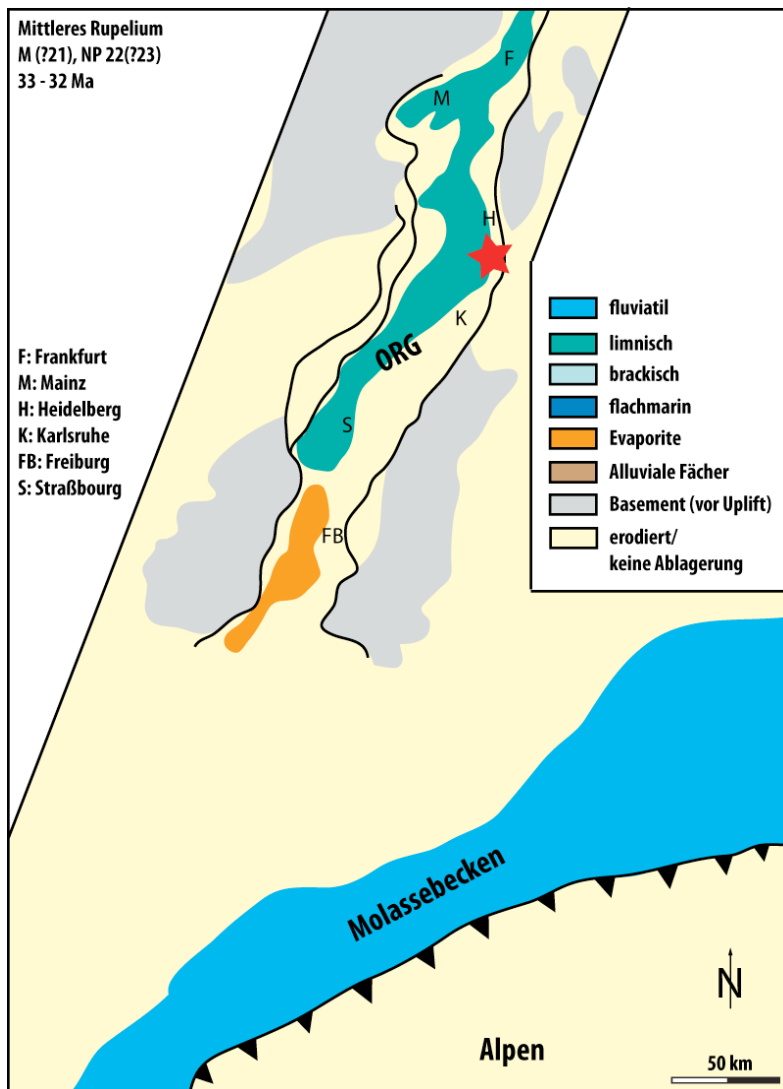


Abbildung 10: Paläogeographische Karte des ORG zur Zeit des mittleren Rupelium (roter Stern = Lage des Arbeitsgebietes; verändert nach BERGER et al. 2005a).

Zur Ablagerungszeit der Rosenberg-Subformation setzte sich im zentralen ORG die Fischschieferfazies fort (GRIMM et al. 2011).

Während der Ablagerung der Sedimente der *Meletta*-Formation bildete der ORG eine marine Verbindung zwischen dem Nordmeer und dem paramediterranen Becken, die graduell eingeschränkt wurde (GRIMM et al. 2011). Durch einen hohen Sedimenteintrag und geringere

1. EINLEITUNG

Subsidenz kam es im nördlichen ORG und im Mainzer Becken zu einer Verflachung des Meeresarmes; dies führte zu einem Rückgang der Faundiversität im Fossilbericht (GRIMM et al. 2011).

Die Cyrenenmergel-Formation wurde in einem brackisch bis marinen Milieu abgelagert. Lokal treten Verlandungen auf und von Süden her wurden fluviatile Sedimente in den ORG eingetragen. Es bestand zu dieser Zeit (oberstes Rupelium) eine flache Verbindung zwischen dem ORG und dem Nordmeer über die hessische Senke (ROTHAUSEN & SONNE 1984, GRIMM et al. 2011).

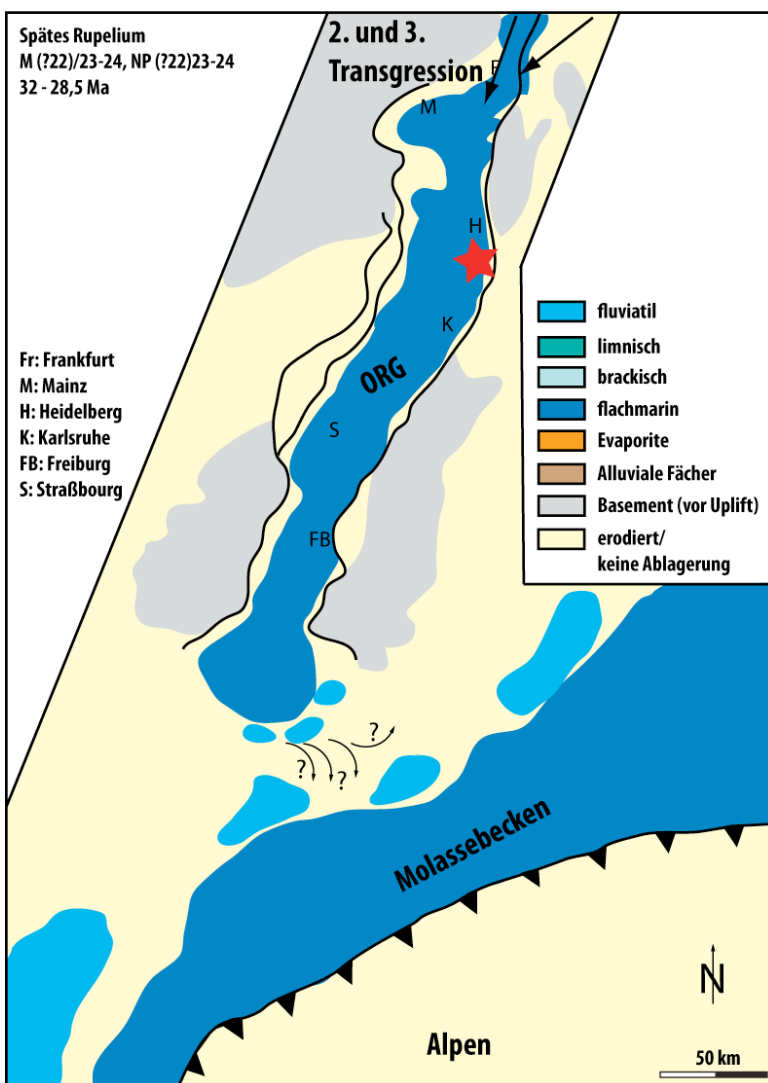


Abbildung 11: Paläogeographische Karte des ORG zur Zeit des späten Rupelium (roter Stern = Lage des Arbeitsgebietes; verändert nach BERGER et al. 2005a).

1.2. Der Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den paläoökologischen Rahmenbedingungen des früh-oligozänen Fischschiefers (spätes Rupelium, Hochberg-Subformation) auf der Paläogenscholle „Wiesloch-Rot“ (Baden-Württemberg) am östlichen Rand des ORG (Abb. 12).

1.2.1. Regionale Geologie

Die Sedimente der Froidefontaine-Subgruppe sind heute nur im Mainzer Becken und an Staffelfrandschollen entlang des ORG aufgeschlossen (BARTH 1970). Einer dieser Ausstrichbereiche ist der Dämmelwaldhorst mit der nach Norden absinkenden 7,5 km langen und 2,5 km breiten Paläogenscholle „Wiesloch-Rot“ (BARTH 1970, TRUNKÓ & MUNK 1998). Diese erstreckt sich zwischen dem Wieslocher Keuper-Gebiet im Norden und der Langenbrückener Senke im Süden (BARTH 1970; Abb. 12). Die Langenbrückener Senke zwischen Mannheim und Karlsruhe am Fuße des Kraichgaus ist eine lokale Struktur mit jurassischen Ablagerungen (SCHWARZ 2005). Die ehemaligen Tongruben im Gebiet Wiesloch und Rauenberg liegen alle auf der Paläogen-Scholle. Hier war der Rupelton oberflächennah zugänglich und für die Industrie abbaubar (MONNINGER & FREY 2010).

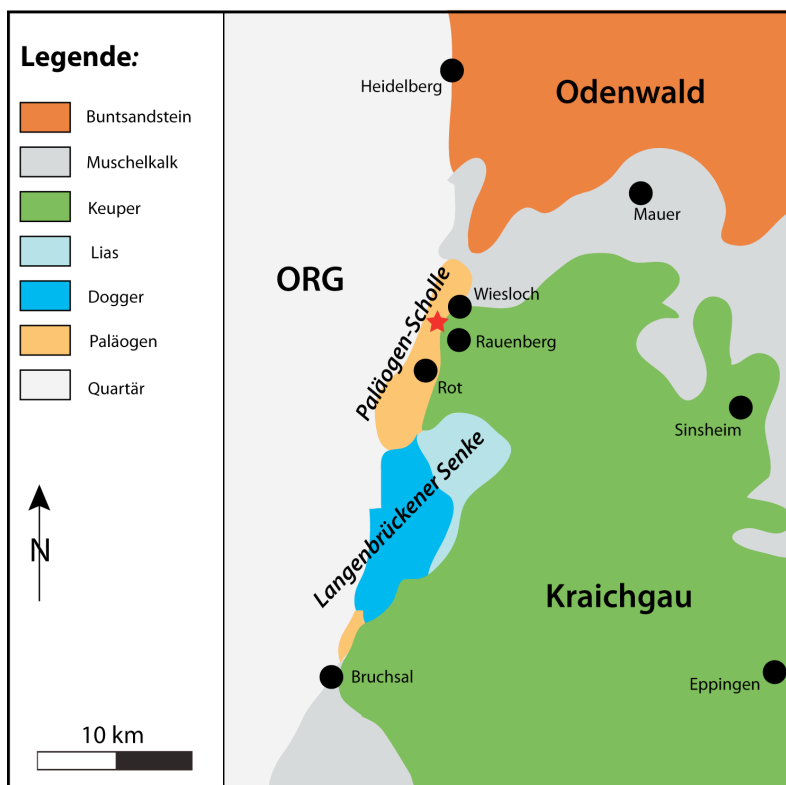


Abbildung 12: Geologische Gliederung des Ostrand des ORG zwischen Bruchsal und Heidelberg (roter Stern: Lage des Arbeitsgebietes; nach HILDEBRANDT 1985).

1. EINLEITUNG

1.2.2. Stratigraphie

Die erste Beschreibung der Stratigraphie des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ erfolgte noch während der Tagebauarbeiten in der aktiven Tongrube Unterfeld (vgl. Kap. 1.3.). Zu dieser Zeit waren noch mehr Schichten zugänglich als heute. Damals wurde ein 11 m mächtiges Profil mit 21 lithologischen Einheiten aufgenommen und mit der unteren *Meletta*-Formation sowie der oberen Hochberg-Subformation korreliert (TRUNKÓ & MUNK 1998). Diese Schichten der Hochberg-Subformation wurden später in einem etwa 13 m mächtigen Profil als eine Ton-Silt-Wechselfolge mit einzelnen Pyritlagen, zahlreichen „Kalknannoplankton-Foraminiferen-Massenlagen“ [sic.] (GRIMM et al. 2002, S. 229) und einer markanten Konkretionslage an der Basis beschrieben. Die Grenze zwischen FS A und FS B wurde zwischen den Schichten 12 und 13 bei 8 m Profilhöhe festgelegt (Abb. 13; GRIMM et al. 2002).

Auf der Basis von Dinoflagellatenzysten und der Europäischen Säugerzonierung (*Apterodon rauenbergensis* FREY et al. 2010) werden die Sedimente der Tongrube Unterfeld als Hochberg-Subformation (Fischschiefer) auf die Subzone D 14 a und auf die Mammalia-Zone MP 22 bis MP 23 datiert (vgl. Abb. 6; MAXWELL et al. 2016).

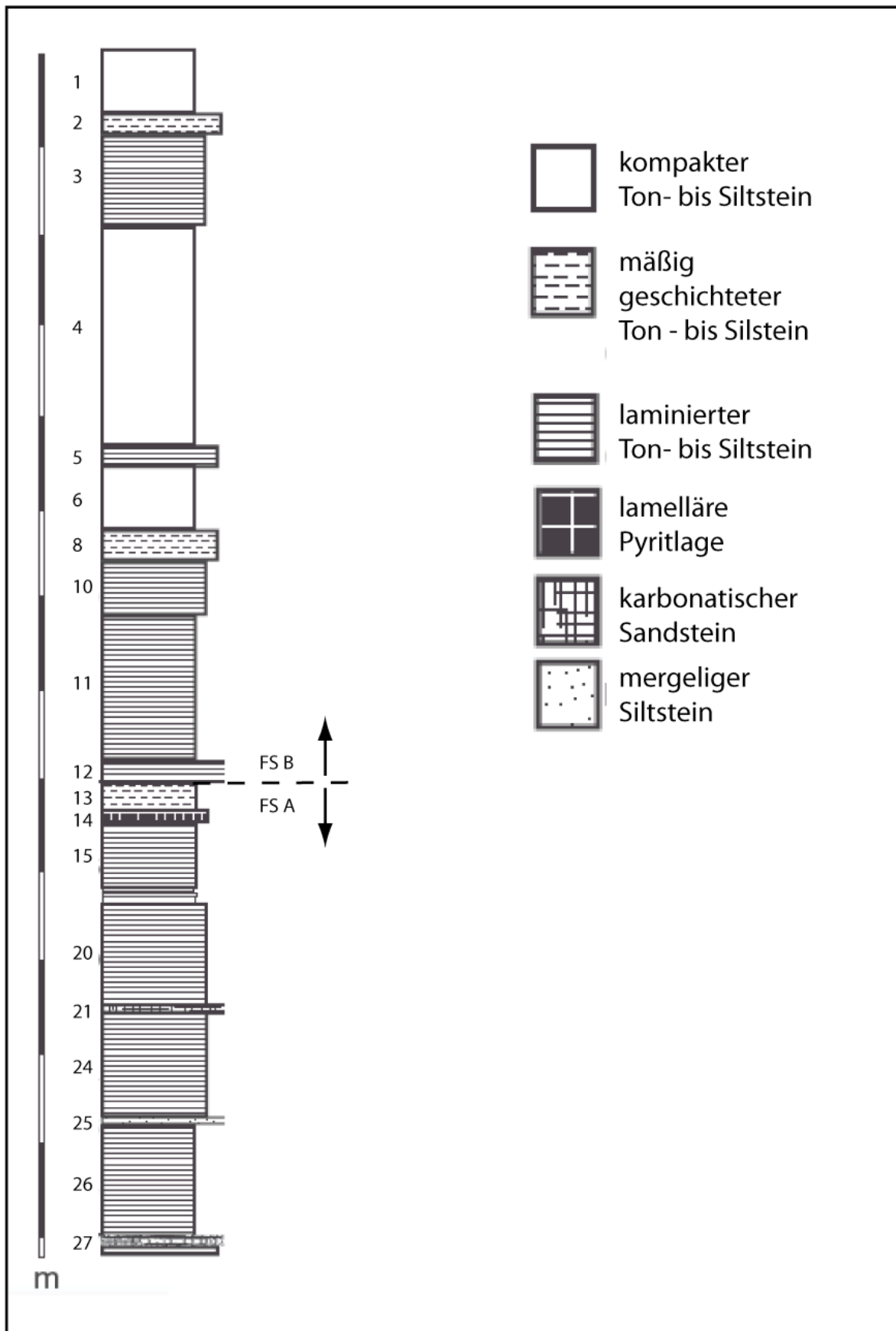


Abbildung 13: Profil der Tongrube Unterfeld (nach GRIMM et al. 2002 und MAXWELL et al. 2016).

1. EINLEITUNG

1.2.3. Lithologie

Heute ist in der Tongrube Unterfeld lediglich der Fischechiefer (Hochberg-Subformation) aufgeschlossen. Die Sedimentabfolge besteht aus dunkelgrauen bis schwarzen, mergeligen, festen Tonstein mit hohem Bitumengehalt. Er ist überwiegend gut geschichtet bis blättrig spaltend, aber massige Einheiten sind ebenfalls häufig. Der Karbonatgehalt schwankt zwischen 3 und 33 %, liegt aber meist zwischen 10 und 20 % (TRUNKÓ & MUNK 1998).

1.2.4. Paläontologie

Der Fischechiefer war in der Vergangenheit nicht nur in der Tongrube Unterfeld, sondern auch in den Gruben Dämmelwald I und II, Rohrlach sowie Frauenweiler aufgeschlossen (vgl. Abb. 14). Die letzteren wurden überwiegend von Privatsammlern, selten von Institutionen besammelt. Die Flora und Fauna der Ablagerungen aus diesen Gruben zeichnen sich durch eine besonders hohe Artenvielfalt aus.

1.2.4.1. Pflanzen (Embryophyta)

Die folgenden Taxa sind aus der Literatur bekannt (WAGNER-KLETT 1919, WINTERSCHEID & GREGOR 2008, MAXWELL et al. 2016, KOVAR-EDER 2016):

Phycophyta:	<i>Thallites multifidus</i> (BRONGNIART) KVAČEK <i>Cystoseyrites communis</i> UNGER
Schizeales:	<i>Lygodium kaulfussi</i> HEER emend. GARDNER & ETtingshausen
Cycadales:	<i>Ceratozamia floersheimensis</i> (ENGELHARDT) KVAČEK
Pinaceae:	<i>Pinus</i> sp. <i>Pinus (Pinus)</i> cf. <i>thomasiana</i> (GOEPPERT) REICHENBACH <i>Pinus engelhardtii</i> MENZEL
Cupressaceae:	<i>Sequoia abietina</i> (BRONGNIART in CUVIER) KNOBLOCH <i>Taxodium</i> sp. <i>Tetraclinis salicornioides</i> (UNGER) KVAČEK
Lauraceae:	cf. <i>Actinodaphne pseudogermari</i> WALTHER <i>Cinnamomum scheuchzeri</i> HEER <i>Laurus abchasica</i> (KOLAKOVSKII & SHAKRYL) FERGUSON <i>Daphnogene cinnamomifolia</i> (BRONGNIART) UNGER <i>Laurophyllum kinkelinii</i> (ENGELHARDT) KVAČEK

	<i>Laurophyllum cf. kinkelinii</i> (ENGELHARDT) KVAČEK var. <i>glabrum</i> KVAČEK
	<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i> WEYLAND & KILPPER
Araceae:	<i>Palmacites lamanonis</i> BRONGNIART
	<i>Phoenicites</i> sp.
	<i>Sabalites major</i> (UNGER) SAPORTA
Platanaceae:	<i>Platanus neptuni</i> (ETTINGSHAUSEN), BŮŽEK, HOLÝ & KVAČEK
Elaeocarpaceae:	<i>Slonea artocarpites</i> (ETTINGSHAUSEN) KVAČEK & HABLY
	<i>Slonea olmediaefolia</i> (UNGER) KVAČEK & HABLY
Juglandaceae:	<i>Carya fragiliformis</i> (STERNBERG) KVAČEK & WALTHER
	<i>Carya quadrangula</i> (KIRCHHEIMER) LEROY
	<i>Engelhardia orsbergensis</i> (WESSEL & WEBER) JÄHNICHEN, MAI & WALTHER
	<i>Engelhardia macroptera</i> (BRONGNIART) UNGER
	<i>Juglans acuminate</i> (BRAUN) HEER
	<i>Juglandites hagenianus</i> GOEPPERT
Salicaceae:	<i>Salix</i> sp.
	<i>Populus germanica</i> MENZEL
Fagaceae:	Fagaceae indet.
Betulaceae:	<i>Betula dryadum</i> BRONGNIART
Myriaceae:	<i>Comptonia difformis</i> (STERNBERG) BERRY
	<i>Eotrigonobalanus furcinervis</i> (ROSSMANN) WALTHER & KVAČEK
	<i>Myrica cf. lignitum</i> (UNGER) SAPORTA sensu KOVAR
	<i>Myrica longifolia</i> UNGER
	<i>Myrica</i> sp.
Malvaceae:	<i>Craigia bronnii</i> (UNGER) KVAČEK, BŮŽEK & MANCHESTER
Hamamelidaceae:	<i>Distylium</i> sp.
Hydrangaceae:	<i>Hydrangea microcalyx</i> SIEBER
Theaceae:	? <i>Ternstroemites</i> sp.
Symplocaceae:	<i>Symplocos volkeri</i> KVAČEK
Fabaceae:	? <i>Leguminocarpon</i> sp.
Buxaceae:	? <i>Buxus dryadum</i> BRONGNIART
Rhamnaceae:	? <i>Berchemia</i> sp.
Loranthaceae:	? <i>Viscophyllum</i> sp.
Apocynaceae:	<i>Trachelospermum</i> sp.

1. EINLEITUNG

Trachelospermum steiningeri KVAČEK

Oleaceae: *Oleinites* sp.

Ulmaceae: *Tremophyllum* sp.

Fam. inc. sed.: *Dicotylophyllum* div. sp.

Pungiphyllum cruciatum (BRAUN) FRANKENHÄUSER & WILDE

1.2.4.2. Wirbellose (Makroinvertebrata)

Wenige Arbeiten beschäftigten sich mit den Wirbellosen (Makroinvertebrata) aus dem Fischeschiefer (z. B. WAGNER-KLETT 1919). Die folgenden Taxa sind aus der Literatur bekannt (MONNINGER & FREY 2010, MAXWELL et al. 2016):

Gastropoda:

Aporrhaidae: *Drepanocheilus* cf. *D. speciosus* SCHLOTHEIM 1820

Batillariidae: *Granulolabium plicatum*? BRUGUIÈRE 1792

Cassidae: *Galeodea depressa* VON BUCH 1831

Epitoniidae: *Opalia*? sp.

Fascolariidae: *Streptochetus* sp.

Muricidae: *Muricopsis* sp.

Naticidae: *Euspira* cf. *E. micromphalus* SANDBERGER 1861

Bivalvia:

Cardiidae: *Laevicardium tenuisulcatum* NYST 1836

Chamidae: *Chama weinheimensis* JANSSEN 1979

Hiatellidae: *Panopea* sp.

Glycymerididae: *Glycymeris* sp.

Pholadomyidae: *Pholadomya weissii*? PHILIPPI 1846

Pteriidae: *Isognomon* sp.

Nuculanidae: *Nucula duchasteli* NYST 1835

Tellinidae: *Arcopagia*? sp.

Thyasiridae: *Thyasira benedeni* DEKONINCK 1838

Yoldiidae: *Portlandia deshayesiana* DUCHASTEL 1835

Echinodermata:

Schizasteridae: *Ova* sp.

Arthropoda:

Araneae: cf. Arachneae

Scorpiones: cf. Scorpiones?

Mathildellidae: *Coeloma taunicum* VON MEYER 1862

Callianassidae: *Calianassa michelotti* MILNE-EDWARDS 1860

Nephroidae: *Homarus* sp.

Hoploparia klebsi NOETLING 1885

Balanida: *Protochelonibia* sp.

Pedunculata: Pedunculata indet.

Zygoptera: Calopterygidae indet.

Orthoptera: cf. Orthoptera

Hemiptera: Pentatomidae indet.

Auchenorrhyncha indet.

Diptera: cf. *Bibio* sp.

Coleoptera: Carabidae indet.

cf. Buprestidae

cf. Elateroidea

Curculionoidea indet.

Cerambycidae indet.

cf. Staphylinidae

Vespoidea: Formicidae indet.

Lepidoptera: cf. Geometridae

1.2.4.3. Wirbeltiere (Vertebrata)

Knorpelfische (Chondrichthyes)

Innerhalb der Knorpelfische (Chondrichthyes) wurden die folgenden Arten bisher sicher bestimmt (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2010, HOVESTADT et al. 2010, MAXWELL et al. 2016):

Odontaspidae: *Carcharias gustrowensis* WINKLER 1875

Carcharias acutissima AGASSIZ 1843

1. EINLEITUNG

	<i>Carcharias cuspidata</i> AGASSIZ 1843
Cetorhinidae:	<i>Keasius parvus</i> LERICHE 1908
Lamnidae:	<i>Isurolamna gracilis</i> LE HON 1871
Carcharhiniformes inc. sed.:	<i>Physogaleus latus</i> STORMS 1894
Triakidae:	<i>Triakis kelleri</i> HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2002
Hexanchidae:	<i>Notorhynchus primigenius</i> STORMS 1894
Squalidae:	<i>Squalus alsaticus</i> ANDREAE 1892
Myliobatidae:	<i>Weissobatis micklichi</i> HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 1999
Des Weiteren ist ein isolierter Dorsalflossenstachel einer Chimaeridae bekannt (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2010).	

Knochenfische (Teleostei)

Aus dem Fischschiefer sind über 70 Taxa von Knochenfischen (Teleostei) bekannt (MICKLICH & PARIN 1996, MICKLICH 1998, MICKLICH et al. 2016, SAKAMOTO et al. 2003a & b, PARIN & ASTAKHOV 2007, PROKOFIEV 2011, MAXWELL et al. 2016):

Elopidae:	Elopidae gen et. sp. indet. <i>Elops</i> sp.
Moringuidae:	<i>Deutschenchelys micklichi</i> PROKOFIEV 2012
Clupeidae:	Clupeidae indet. sp. a Clupeidae indet. sp. b „ <i>Sardinella</i> “ <i>sardinites</i> HECKEL 1850
Veliferidae:	Veliferidae indet.
Gadiformes inc. sed.:	? <i>Eophycis</i> sp. <i>Palaeogadus</i> sp. <i>Palaeogadus</i> cf. <i>P. intergerinus</i> DANILTSCHENKO 1947
Percomorphaceae inc. sed.:	<i>Psenicupiceps</i> sp.
Palaeorhynchidae:	<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i> BLAINVILLE 1818 <i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. zitelli</i> KRAMBERGER 1879
Caproidae:	<i>Capros</i> sp. <i>Capros caprosoides</i> COSMOVICI 1887 <i>Proantigonia</i> sp.
Moronidae:	<i>Dicentrachus</i> sp.
Priacanthidae:	<i>Priacanthus spinosus</i> BLAINVILLE 1818

Ophidiidae:	Ophidiidae indet.
Aulostomidae:	<i>Aulostomus medius</i> WEILER 1920 <i>Frauenweilerstomus synarcualis</i> PARIN & MICKLICH 1996
Centriscidae:	<i>Aeoliscus distinctus</i> PARIN & MICKLICH 1996 <i>Aeoliscus heinrichi</i> HECKEL 1850
Syngnathidae:	<i>Syngnathus</i> cf. <i>S. incompletus</i> COSMOVICI 1887 <i>Doryrhamphus</i> sp. <i>Microphis</i> sp. <i>Nerophis</i> sp.
Urosphenidae:	<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>gracilis</i>
Euzaphlegidae:	<i>Palimphytes</i> cf. <i>chadumicus</i> DANILTSCHENKO 1960
Musculopedunculidae:	<i>Musculopedunculus micklichi</i> PARIN & ASTAKHOV 2007
Gempylidae:	<i>Abadzekhia</i> cf. <i>A. marinae</i> BANNIKOV 1985 <i>Abadzekhia</i> cf. <i>A. tarletskovi</i> BANNIKOV 2005 <i>Propercarina</i> sp. cf. <i>Thyrsitoides</i> sp. Gempylidae indet. aff. <i>Diplospinus</i> sp. Gempylidae indet. aff. <i>Neoepinnula</i> sp. cf. <i>Gempylus</i> sp.
Trichiuridae:	<i>Lepidopus</i> sp. <i>Anenchelum</i> cf. <i>A. angustum</i> DANILTSHENKO 1980 <i>Eutrichiurides delheidi</i> LERICHE 1910
Scombridae:	<i>Auxides</i> cf. <i>A. cernegurae</i> CIOBANU 1970 <i>Scomber</i> sp. <i>Scomberomorus lingulatus</i> VON MEYER 1946 <i>Sarda brachycephala</i> LERICHE 1908 <i>Neocybium</i> sp. cf. <i>Sphyraenodus</i> sp.
Stromateidae:	<i>Pinichthyes pulcher</i> BANNIKOV 1988 <i>Rybapina</i> cf. <i>R. caucasica</i> BANNIKOV 1993
Bramidae:	<i>Pterycombus?</i> sp.
Sphyraenidae:	cf. <i>Sphyraena</i> sp. AGASSIZ 1834
Carangidae:	<i>Archaeus glarisianus</i> AGASSIZ 1834 <i>Seriola multiradiata</i> WEILER 1920

1. EINLEITUNG

Echeneidae:	<i>Oligoremora rhenana</i> MICKLICH ET AL. 2016
Scophthalmidae:	<i>Oligoscoptthalmus weissi</i> SAKAMOTO ET AL. 2003 <i>Scophthalmus</i> sp.
Pleuronectidae:	<i>Oligopleuronectes germanicus</i> SAKAMOTO ET AL. 2004
Hemiramphidae:	<i>Hemiramphus</i> sp.
Ephippidae:	<i>Archaephippus?</i> sp.
Sparidae:	<i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i> WITTICH 1900
Chaetodontidae:	Chaetodontidae indet.
Leiognathidae:	<i>Leiognathoides</i> cf. <i>L. altapinna</i> WEILER 1955
Lophiidae:	Lophiidae indet. n. g. n. sp.
Kyphosidae:	cf. <i>Microcanthus</i> sp.
Serranidae:	<i>Reproca sabbai</i> PAUCA 1929 <i>Oliganodon budensis</i> HECKEL 1856 <i>Oliganodon</i> sp.
Trachinidae:	? <i>Trachinus</i> sp. <i>Trachinus</i> cf. <i>T. minutus</i> PAUCA 1929
Scorpaenidae:	cf. <i>Sebastes</i> sp.
Triglidae:	cf. Triglidae

Landwirbeltiere (Tetrapoda)

Annähernd jeder Fund von Tetrapoda aus dem Fischeschiefer wurde in Einzelpublikationen beschrieben (z. B. WAGNER-KLETT 1919, MAYR 2000, 2004a, b, 2005, MAYR et al. 2002, MAYR & MANEGOLD 2006, MAYR & KNOPF 2007a, b, ALEXANDER & FREY 2010, FREY et al. 2010, SCHÖGGL & MICKLICH 2010, MAXWELL et al. 2016):

"Reptilia":

Trionychidae:	cf. <i>Trionyx</i> cf. (<i>Platypeltis</i>) <i>posterus</i> GRAY 1831
Cheloniidae:	„ <i>Chelonia</i> “ <i>gwinneri</i> WEGENER 1918
Diplocynodontidae:	<i>Diplocynodon</i> sp.

Aves:

Gaviidae:	<i>Colymboides?</i> <i>metzleri</i> MAYR 2004
Diomedeoididae:	<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. brodkorbi</i> CHENEVAL 1995 <i>Rupelornis</i> cf. <i>R. definitus</i> BENEDEN 1871

Trochilidae:	<i>Eurotrochilus inexpectatus</i> MAYR 2004
Turnicidae:	<i>Turnipax oechslerorum</i> MAYR & KNOPF 2007
Coliidae:	<i>Oligocolius brevitorsus</i> MAYR 2000
Trogonidae:	cf. <i>Primotrogon</i>
Todidae:	<i>Palaeotodus itardiensis</i> MOURER-CHAUVIRÉ 1985
Picidae:	<i>Rupelramphastoides knopfi</i> MAYR 2004
Passeriformes inc. sed.:	<i>Wieslochia weissii</i> MAYR & MANEGOLD

Mammalia:

Dugongidae:	" <i>Halitherium</i> " cf. <i>schinzii</i> KAUP 1838
Hyaenodontidae:	<i>Apterodon rauenbergensis</i> FREY ET AL. 2010
Microchiroptera:	<i>Myotis horaceki</i> ZIEGLER 2003

1.3. Die Tongrube Unterfeld

1.3.1. Geographischer Überblick

Seit der Römerzeit wurden am Ostrand des ORG Tongruben betrieben, in denen die unteroligozänen Sedimente abgebaut wurden (HILDEBRANDT 2012). Die heute meist verfüllten Tongruben liegen im Bereich des Rhein-Neckar-Kreises südlich von Heidelberg am Fuße des Kraichgaus, im Nordwesten Baden-Württembergs (SCHWARZ 2005). In dem Gebiet um Wiesloch und Rauenberg existierten bis in die 1970er Jahre bis zu zwölf Tongruben (Abb. 14; MONNINGER & FREY 2010).

Die Tongrube Unterfeld auf der Gemarkung der Stadt Rauenberg ist heute die letzte zugängliche Grube dieses ehemals großen Tonabbaugebietes (MONNINGER & FREY 2010). Die Grube liegt südlich der Bundesautobahn 6 (Flur Unterfeld; Abb. 14).

Der Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ ist heute nur noch dort aufgeschlossen (GRIMM et al. 2011, MAXWELL et al. 2016). Die Tongrube Unterfeld lag bis 1998 auf der Gemarkung der Stadt Wiesloch nahe dem Stadtteil Frauenweiler. 1998 wurde die Bundesautobahn 6 als Gemarkungsgrenze zwischen Wiesloch-Frauenweiler im Norden und Rauenberg im Süden festgelegt. Die Tongrube mit dem Flurnamen Unterfeld fiel dadurch auf die Gemarkung Rauenberg. In der Literatur und in den meisten Sammlungen ist der heute nicht mehr korrekte Name „Tongrube Frauenweiler“ zu finden (z. B. HILDEBRANDT 2012). Dies führt häufig zur Verwechslung mit der heute verfüllten Grube Frauenweiler-Wiesen nördlich der

1. EINLEITUNG

Bundesautobahn 6. In der vorliegenden Arbeit wird für die Grube südlich der Bundesautobahn 6 die korrekte Bezeichnung „Tongrube Unterfeld“ entsprechend des Gemarkungsnamens verwendet. „Tongrube Frauenweiler“ bezeichnet hier ausschließlich die ehemalige Grube im Norden der Autobahn (vgl. Abb. 14).



Abbildung 14: Geographische Lage der ehemaligen Tongruben im Raum Wiesloch und Rauenberg: a. Deutschland, b. Baden-Württemberg, c. Region: 1. Viehweg, 2. Dittmannstal, 3. Reimsloch, 4. Guggen, 5. Unterfeld (Arbeitsgebiet), 6. Frauenweiler, 7. Rohrlach, 8. Weinäcker, 9. Dämmelwald I, 10. Dämmelwald II, 11. Unter dem Damm, 12. Dammstückern (nach MONNINGER & FREY 2010 und openstreetmap.org).

1.3.2. Historischer Überblick

Erste Erwähnungen paläogener Sedimente am östlichen Rand des ORG bei Wiesloch und Rauenberg finden sich in BENECKE & COHAN (1879), wurden aber dem Pleistozän zugeordnet. SAUER (1898) erkannte als erster das paläogene Alter dieser Sedimente. Die erste stratigraphische

Korrelation der rupelischen Sedimente der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ mit denjenigen bei Lobsann und Pechelbronn im Elsass wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts durchgeführt (THÜRACH & HERRMANN 1903, WAGNER-KLETT 1919). Die Tongrube Unterfeld und ihre fossilführenden Schichten werden jedoch erst bei DOEBL (1976) und SCHWEIZER (1982) erstmals erwähnt. Durch LEOPOLD (1991) erfolgte eine erste Profilaufnahme (vgl. TRUNKÓ & MUNK 1998).

Von 1972 bis 1989 war die Tongrube Unterfeld im Besitz der Firma „Bott-Eder“ und gehörte ab 1989 der Firma „Trost“ (MICKLICH & HILDEBRANDT 2005). Nach dem Ende des Tonabbaus begannen 2003 die Verfüllungsarbeiten (HILDEBRANDT 2012). Die Fossiliensuche wurde mit der freundlichen Duldung der Firma „Trost“ fortgeführt. Der Fund des ältesten Kolibris in der Alten Welt (*Eurotrochilus inexpectatus* MAYR 2004) veranlasste das Staatliche Museum für Naturkunde Karlsruhe (SMNK) in Verhandlungen mit der Firma „Trost“ und der Stadt Rauenberg zu treten, mit dem Ziel, die letzte offene Rupeltonfläche am östlichen Rand des ORG langfristig für wissenschaftliche Grabungen zu sichern. Nach ihrer Insolvenz wurde die Firma „Trost“ von dem Unternehmen „Creaton“ übernommen. Die Stadt Rauenberg übernahm 2011 das gesamte Grubengelände. Ein etwa ein Hektar großer Grabungsbereich wurde entgegen der ursprünglichen Rekultivierungsplanung im Einvernehmen mit den beteiligten Behörden offen gelassen. Seit Oktober 2012 ist das gesamte Tongrubengelände auch juristisch im Besitz der Stadt Rauenberg. Zwischen der Stadt und dem SMNK wurde ein Kooperationsvertrag geschlossen, in dem die Grabung und der Fundverbleib geregelt sind. Im April 2014 startete das von der Klaus Tschira-Stiftung gGmbH geförderte Projekt „Initialisierung eines wissenschaftlichen Grabungsverbundes in der aufgelassenen Tongrube Unterfeld bei Rauenberg“.

1.4. Fragestellung

Der Fischechiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ ist bekannt für eine hohe Abundanz und Diversität von Fossilien, insbesondere von Fischen. Trotzdem lässt sich das Ablagerungsmilieu und das paläoökologische Umfeld zur Ablagerungszeit aus der Summe der vorangegangenen Studien und unterschiedlichen methodischen Ansätzen nicht hinreichend erklären. Die Ergebnisse waren widersprüchlich.

Das Ziel dieser Arbeit ist, auf der Basis von umfassenden taxonomischen und taphonomischen Analysen sowie durch eine feinstratigraphische, kleinräumige Grabung in der Tongrube Unterfeld ein Ablagerungsmodell für den Fischechiefer zu erstellen. Ein umfassender Katalog aller verfügbaren Fossilien in den institutionellen Sammlungen bildet die Basis für statistische Analysen zur Häufigkeitsverteilung der Taxa und deren Erhaltungszustände. Die Fossilien in den Sammlungen gehen auf selektive Sammlertätigkeiten zurück und sind nicht stratifiziert. Die paläontologische Grabung nach wissenschaftlichen Methoden liefert die in den Sammlungen fehlenden Informationen über die vertikalen Häufigkeitsverteilungen der Fossilien.

Bei der Auswertung der unterschiedlichen Datenquellen sind die folgenden Fragen von zentraler Bedeutung: sind existierende Sammlungen von Fischechiefer-Fossilien repräsentativ für die Häufigkeit und Diversität der Taxa, die während den Grabungen aufgefunden wurden? Welche Grabungsmethoden haben sich in der Vergangenheit als sinnvoll erwiesen? Zeigen die Wirbeltierfossilien in bestimmten Schichtabschnitten Trends bezüglich ihrer Erhaltungszustände? Lassen sich anhand der horizontalen Orientierung der Fossilien Paläo-Strömungsrichtungen erkennen? Wie sind die Foraminiferen-Massenlagen und Pflanzenhäcksel-Horizonte im Profil verteilt? Unter welchen paläoökologischen Bedingungen wurde der unteroligozäne Fischechiefer am Ostrand des ORG abgelagert?

2. Material und Methoden

2.1. Material

Das in dieser Arbeit bearbeitete Fossilienmaterial stammt zum einen aus wissenschaftlichen Sammlungen, welche Exemplare aus den Tongruben Frauenweiler, Rohrlach, Unterfeld und Dämmelwald beherbergen. Zum anderen stammt das Material aus der im Rahmen des Projektes durchgeführten feinstratigraphischen Grabung in der Tongrube Unterfeld und einer Amateurgrabung in dieser Lokalität. Es ist jederzeit gemäß den Vorgaben der guten wissenschaftlichen Praxis zugänglich.

2.1.1. Wissenschaftliche Sammlungen

Funde aus dem Fischeschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ lagern in den Sammlungen von fünf Institutionen und wurden im Rahmen dieser Dissertation ausgewertet: Institut für Geowissenschaften/Universität Heidelberg (GEOW), Hessisches Landesmuseum Darmstadt (HLMD), Forschungsinstitut Senckenberg/Frankfurt a. Main (SMF), SMNK, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (SMNS). Sämtliche verfügbaren Stücke wurden dabei in einer Arbeitsdatenbank (Libre Office Calculator Spreadsheet Version 4.3.5.2.) katalogisiert (Tab. 1).

Die botanische Sammlung des SMF war für die vorliegende Arbeit nicht zugänglich. Es handelt sich dabei um etwa 90 bislang unbestimmte Exemplare.

Tabelle 1: Altfunde in den Sammlungen und Anzahl der Exemplare, welche in die Analyse miteinbezogen wurden.

Sammlung	Aufgenommene Exemplare	Taxonomische Analyse	Taphonomische Analyse
GEOW	342	116	121
SMNK	3.792	3.218	3.280
HLMD	1.838	1.634	1.717
SMF	56	42	42
SMNS	3.505	3.336	1.499
Summe	9.533	8.346	6.659

Für die statistischen Auswertungen wurden nur solche Funde aus den Sammlungen herangezogen, bei denen die Zuordnung zum rupelischen Fischeschiefer der Hochberg-Subformation gesichert ist. Die Funde in der Sammlung des GEOW stammen aus den drei Gruben Dämmelwald I und II sowie Dammstückern (vgl. Abb. 14). Hier wurden einige Exemplare aus der Statistik herausgenommen, da in diesen Gruben auch die Schichten der *Meletta*- und der Cyrenenmergel-Formation aufgeschlossen waren (WAGNER-KLETT 1919). Nach den Aufzeichnungen von Heinrich Eckert und

2. MATERIAL & METHODEN

Wilhelm Weiler (1966) stammen die Funde in der Sammlung des SMNK aus den drei Gruben Unterfeld, Frauenweiler und Rohrlach (vgl. Abb. 14). Da zu Zeiten des Tonabbaus in der Tongrube Unterfeld auch die *Meletta*-Schichten noch aufgeschlossen waren, wurden auch hier entsprechend gekennzeichnete Exemplare nicht berücksichtigt. Die Exemplare in den Sammlungen des HLMD, SMNS und SMF stammen ausschließlich aus der Tongrube Unterfeld, nachdem der Tonabbau beendet war (vgl. Abb. 14). Die *Meletta*-Schichten waren dann nicht mehr aufgeschlossen. Die Arbeitsdatenbank der Sammlungen umfasste insgesamt 9.533 Exemplare aus dem Fischschiefer der Hochberg-Subformation.

2.1.2. Grabungsarbeiten

Die feinstratigraphische Profilaufnahme in der Tongrube Unterfeld erfolgte unter Aufnahme aller paläontologischen Befunde in drei Grabungskampagnen in den Jahren 2014, 2015 und 2016. Insgesamt ergab sich aus der wissenschaftlichen Grabung eine Datenbank mit 35.716 Befundsätzen. 34.382 kleine Fossilüberreste und -fragmente wurden nur gezählt, während 1.334 Befunde mit einer Fundnummer und den entsprechenden Metadaten in einem Fundbuch registriert wurden. 253 Exemplare wurden vorläufig geborgen. Davon wurden 48 Exemplare in die Sammlung des SMNK endgültig eingegliedert. Die übrigen waren Pflanzenreste, die an das SMNS weitergeleitet wurden oder Stücke, die nachträglich auf dem Abraum entsorgt wurden. Die Arbeitsmethoden werden im Kap. 2.2.1. erläutert.

Ehrenamtliche Mitarbeiter des SMNK führten in den Jahren 2014 und 2015 parallel zur wissenschaftlichen Grabung eine Amateurgrabung durch. Die dabei gemachten Funde enthielten keine stratigraphischen Informationen, die mit der wissenschaftlichen Grabung korrelierbar waren. Gleiches gilt für die Funde aus dem Abraum, der während den Baggarbeiten getätigt wurden. Diese Funde werden daher in der statistischen Auswertung auf die gleiche Weise behandelt wie nicht stratifizierbare Exemplare der Sammlungen. Es handelt sich um 1.308 Exemplare.

2.2. Methoden

2.2.1. Grabungen

Zu Beginn des Projektes wurde im September 2014 eine ca. 5 m mächtige Überdeckung aus Bauschutt, Erdaushub und Grabungsabraum entfernt (Abb. 15). Am Nordhang der Grube wurden Grabungsflächen auf unterschiedlichen stratigraphischen Niveaus in Bermen angelegt (Abb. 16). Diese Terrassenmorphologie verringerte zum einen den Erddruck am Fuß der neu entstandenen Böschung und zum anderen erleichterte sie die Grabungsarbeiten (vgl. Kap. 2.2.1.1.)



Abbildung 15: Zustand der Grube im Sommer 2014 vor Beginn der Baggerarbeiten (Blick nach Süden).

2. MATERIAL & METHODEN



Abbildung 16: Zustand der Grube kurz vor Abschluss der Baggerarbeiten im September 2014 mit den angelegten terrassenförmigen Bermen im Norden (Blick nach Nordwesten).

2.2.1.1. Wissenschaftliche Grabung

Die feinstratigraphische Grabung begann im März 2015 auf der obersten Berme (1. Berme, vgl. Abb. 17). Größe und Umriss jeder neuen Grabungsfläche wurde abhängig von der Anzahl der Helfer und der Geländemorphologie angelegt. Für jede Grabungsfläche wurden zwei Fixpunkte für eine lokale Triangulation zum Einmessen der Funde eingerichtet. Um zusätzlich eine stratigraphische Zuordnung der Funde zu gewährleisten, wurde standardmäßig in 100 mm mächtigen Schichtpaketen abgebaut. Die Schichtpaketdicke wurde bei Bedarf den Lagerungsverhältnissen angepasst, so dass einige Pakete auch 50 oder 150 mm mächtig waren. Mit Nägeln wurde abhängig von der Schichtpaketdicke in dem jeweiligen Abstand Hilfshorizonte im Profil markiert. Das jeweilige Fundniveau wurde bezogen auf einen Hilfshorizont mit Lot und Wasserwaage eingemessen. Die vertikalen Grabungsabschnitte erhielten Schichtnummern. Während der Grabungsarbeiten erhielt die jüngste (oberste) Schicht die Nummer 1 und zum Liegenden hin wurde aufsteigend durchnummeriert. Später wurde während der Auswertung die Nummerierung umgedreht, so dass die älteste (tiefste) Schicht des Profils die Nummer 1 hat. Dadurch ist das relative Alter der Schichten zueinander jederzeit erkennbar. Auf den fünf angelegten Bermen im Norden der Grube wurde auf insgesamt sieben Grabungsflächen gearbeitet, wobei sich die letzte Grabungsfläche auf der untersten begehbaren Fläche der Grube befand. Das Profil umfasst eine Schichtenfolge von 5,60 m Mächtigkeit (Abb. 17). Es wurden alle im Jahre

2016 aufgeschlossenen Schichten während den Grabungsarbeiten erreicht. In den beiden Grabungskampagnen 2015 und 2016 wurde mit Hilfe von 27 Grabungshelfern auf sieben Grabungsflächen ca. 24 Kubikmeter Fischschiefer umgesetzt.

Die Schichten wurden mit großen Messern und Spachteln abgetragen. Die Raumlage eines jeden eingemessenen Fundes ergibt sich aus der Höhe des Fundniveaus einer Schicht vertikal und durch Triangulation zu den Fixpunkten horizontal (Abb. 18). Zusätzlich wurde die horizontale Einregelung bei länglichen Objekten (z. B. artikulierte Fische, Äste, Seegrasblätter) mit einem Freiburger Gefügekompas eingemessen. Bei Knochenfischen (Teleostei) wurde die Orientierung des Schädels, der Ventralseite und bei stark gekrümmten Exemplaren der Schwanzflosse (Caudale) notiert. Bei Pflanzenresten wurde entlang der längsten Seite gemessen. Diese Einregelungsmessung wurde in tektonisch stark verformten Schichten unterlassen. Dies verhinderte, dass die Ergebnisse durch nicht mehr horizontal eingebettete Exemplare verfälscht wurden. Die starke Verfaltung des Gesteins in einigen Grabungsbereichen erschwerte zusätzlich eine standardmäßige, schichtgetreue, söhlige Abbaumethode.

2. MATERIAL & METHODEN

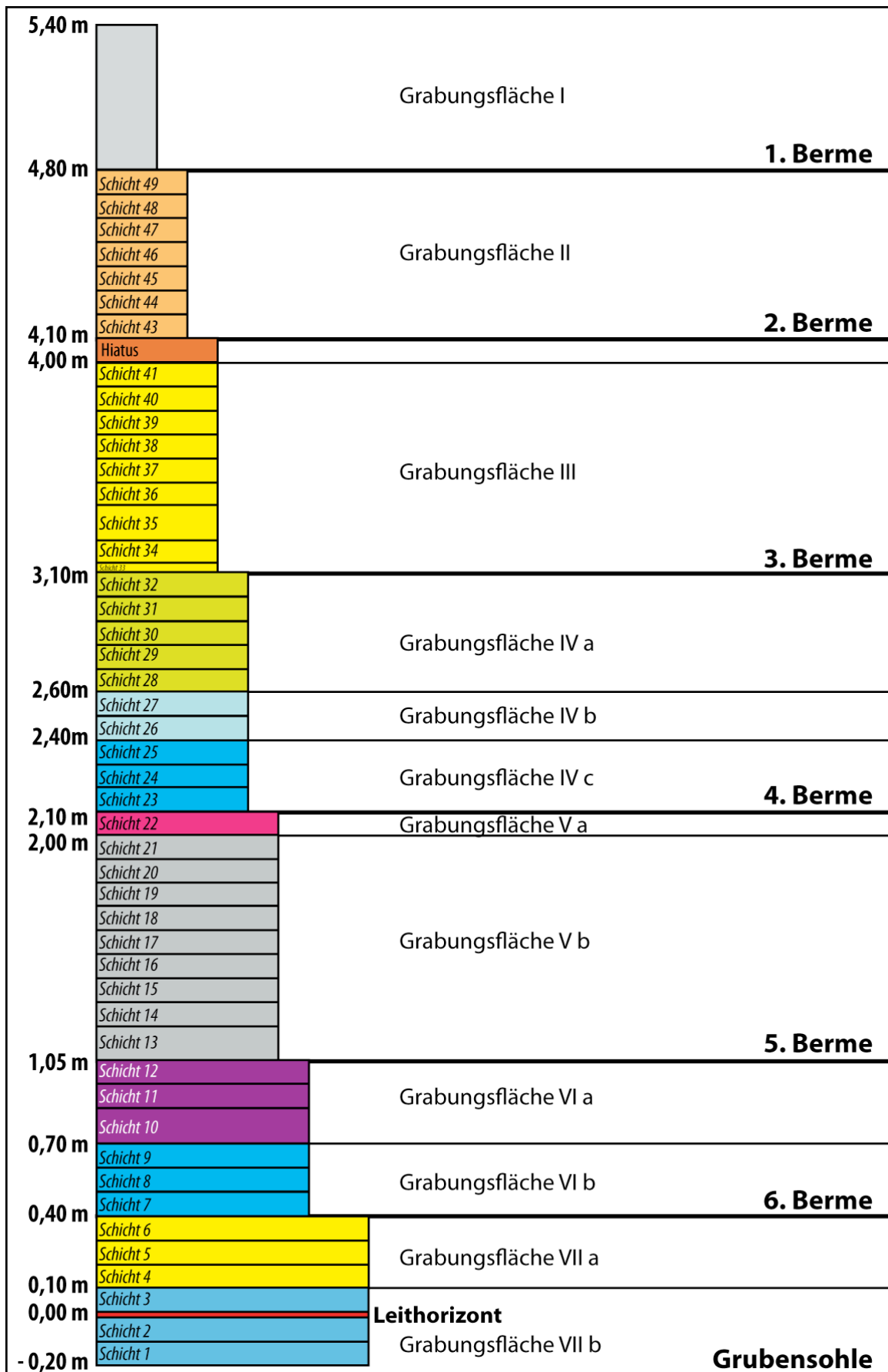


Abbildung 17: Übersicht über die Bermen, Grabungsflächen und Schichten.

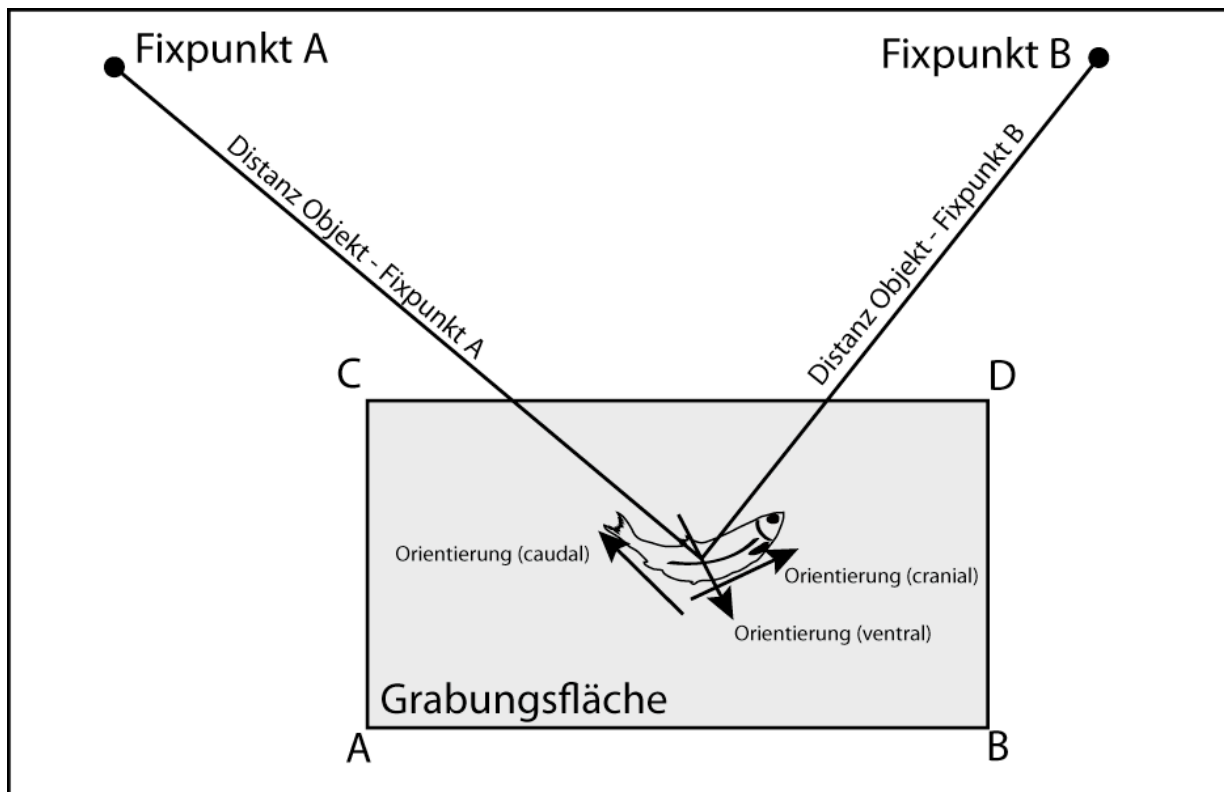


Abbildung 18: Das Prinzip der angewandten Triangulation und Orientierungsmessung.

Die Orientierungsmessungen der länglichen Funde wurden in Richtungsrosen eingetragen. Auf diese Weise werden mögliche Veränderungen der Strömungsverhältnisse im Laufe der Ablagerungszeit der untersuchten Schichten sichtbar.

Es wurden alle erkennbaren Überreste notiert. Fragmente und nicht näher bestimmbare Reste wurden innerhalb einer Grabungsfläche bzw. Schicht gezählt und in einer Strichliste erfasst. Bestimmbare Funde, die mit fortlaufender Fundnummer in das Fundbuch eingetragen wurden, wurden mit den Metadaten (Taxon, erhaltene Elemente, Zerfallsstufe, Fundniveau, Orientierungsmessung, Finder, Datum) und Abständen zu den Fixpunkten notiert. Das Massenaufreten von Mikrofossilien (Foraminiferen) wurde geschätzt, indem die Anzahl der Individuen pro 10 mm^2 gezählt wurden (vgl. Kap. 2.2.8.). Für Wirbeltiere (Vertebrata) wurden zusätzlich die Zerfallsstufen notiert. Unbestimmbare Holzreste wurden als *Spermatophytina indet.* gezählt. Die übrigen botanischen Funde wurden, wenn möglich, als Blätter, Fruktifikationen oder Lager eingeordnet (Tab. 2).

2. MATERIAL & METHODEN

Tabelle 2: Bei der Grabung eingesetzte taxonomische und taphonomische Kategorien (vgl. Kap. 2.2.5., 2.2.6.).

Bezeichnung	Erhaltene Elemente
Embryophyta indet.	Fragmente
Phycophyta	Lager
Spermatophytina indet.	Holz, Fruktifikationen
Coniferopsida indet.	Blätter, Fruktifikationen
Magnoliopsida indet.	
Zosteraceae indet.	Blätter
Arecales indet.	
Mollusca	Kalzitschalen, Kalzitgehäuse
Arthropoda	Ganzkörper, Chitinpanzer, Kopf und/oder Extremitäten fehlen, Einzelelemente, Fragmente
Lamniformes indet.	Kiemenreusendornen, Zähne
<i>Keasius parvus</i>	
<i>Physogaleus latus</i>	
Teleostei indet.	Ganzkörper, artikulierte Körperteile, disartikulierte Körperteile, Einzelelemente, Fragmente
Syngnathiformes indet.	
Syngnathidae indet.	
Clupeidae indet.	
Aulostomidae indet.	
<i>Aeoliscus sp.</i>	
Scombriformes indet.	
Perciformes indet.	
Tetrapoda indet.	Einzelelemente

Grabungsfläche I

Die Grabungsarbeiten auf der ersten Grabungsfläche wurden wieder aufgegeben, nachdem ein ca. 300 mm-mächtiges Schichtpaket abgetragen wurde, weil sie sich als Abraumlage herausstellte (vgl. Abb. 17). Zudem sind die wenigen anstehenden Tonsteine in diesem Bereich stark verdichtet und von Wurzeln durchdrungen. Um sicher zu gehen, dass kein anstehendes Gestein vor Beginn der Grabungsfläche II übersehen wurde, wurde ein weiterer 300 mm mächtiger Bereich mit Spaten angestochen. Insgesamt umfasste die Grabungsfläche I eine Fläche von 1 m² mit einer Mächtigkeit von ca. 600 mm. Später wurde die 1. Berme als Abraumhalde für die weiteren Grabungsflächen genutzt.

Grabungsfläche II

Auf der 2. Berme unterhalb der Grabungsfläche I wurde das Hangende des anstehenden Gesteines in der Tongrube Unterfeld angetroffen (Abb. 19). Es wurde in dem Zeitraum vom 15. April bis 11. Mai 2015 auf der Grabungsfläche II (2 m²) ein 700 mm mächtiges Schichtpaket mit 1,4 m³ Material umgesetzt (Schichten 49 bis 43; vgl. Abb. 17). Es wurden zwei Fixpunkte nördlich der Grabungsfläche gesetzt: F3 im Osten und F4 im Westen mit einer Distanz von 2,80 m zueinander. Die Verbindungslinie zwischen den beiden Fixpunkten hatten eine WSW-Orientierung (248°). Die Abstände der Eckpunkte der Grabungsfläche (A, B, C, D) zu den beiden Fixpunkten wurden eingemessen:

Distanz A - F3: 2,55 m	Distanz A - F4: 1,40 m
Distanz B - F3: 1,70 m	Distanz B - F4: 2,85 m
Distanz C - F3: 3,40 m	Distanz C - F4: 2,80 m
Distanz D - F3: 2,90 m	Distanz D - F4: 3,35 m

Bei dem Wechsel von der Grabungsfläche II zu III war eine Profillücke unvermeidlich, weil im Bereich zwischen den Schichten 41 und 43 auf der Grabungsfläche III verwittertes Material lag, welches abgetragen werden musste (Schicht 42; vgl. Abb. 17).

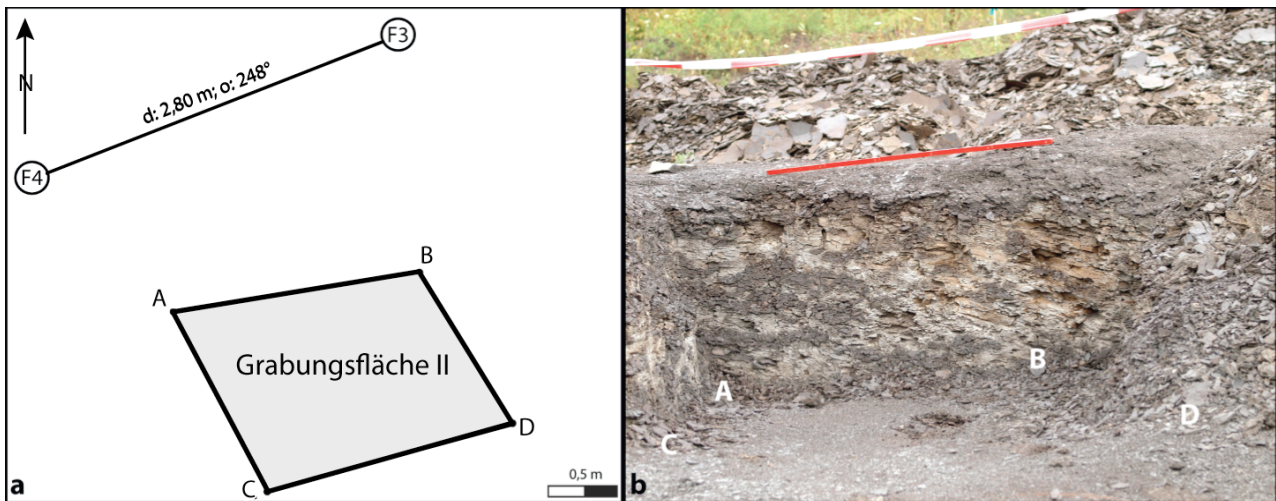


Abbildung 19: a. Schematische Lage der Grabungsfläche II (F3, F4: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche II (Blick nach Norden).

Grabungsfläche III

Die dritte Grabungsfläche umfasste 4,5 m² (Abb. 20). In dem Zeitraum vom 11. Mai bis 03. August 2015 wurden 4,05 m³ Material in einem 800 mm mächtigen Profilabschnitt umgesetzt (Schichten 41 bis 33). Südlich der Grabungsfläche wurden die beiden Fixpunkte F5 und F6 gesetzt: F5 im Osten und F6 im Westen mit einer Distanz von 3,58 m zueinander. Die Verbindungslinie zwischen den beiden Fixpunkten hatte eine WSW-Orientierung von 262°.

Abstände von den Fixpunkten zu den Eckpunkten der Grabungsfläche (A, B, C, D):

Distanz A - F5: 5,55 m	Distanz A - F6: 4,23 m
Distanz B - F5: 4,25 m	Distanz B - F6: 2,64 m
Distanz C - F5: 4,79 m	Distanz C - F6: 5,30 m
Distanz D - F5: 3,33 m	Distanz D - F6: 4,38 m

2. MATERIAL & METHODEN



Abbildung 20: a. Schematische Lage der Grabungsfläche III (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche III (Blick nach Norden). Die Grabungsfläche zeichnete sich durch eine starke Verfäktelung der Schichten aus. Auf die Richtungsmessung von Funden wurde in diesem Bereich verzichtet.

Grabungsfläche IV a

Die vierte Grabungsfläche umfasste 11,84 m² (Abb. 21). Im Zeitraum vom 03. August bis 02. September 2015 wurden 5,92 m³ Material in einem 500 mm mächtigen Profilabschnitt umgesetzt (Schichten 32 bis 28; vgl. Abb. 17). Die Fixpunkte F5 und F6, die schon für die Grabungsfläche III genutzt wurden, wurden auch für die Grabungsfläche IV a verwendet. Die Fixpunkte lagen nun wieder im Norden der Grabung.

Abstände von den Fixpunkten zu den Eckpunkten der Grabungsfläche (A, B, C, D):

Distanz A - F5: 2,96 m	Distanz A - F6: 1,00 m
Distanz B - F5: 4,96 m	Distanz B - F6: 3,94 m
Distanz C - F5: 0,98 m	Distanz C - F6: 4,43 m
Distanz D - F5: 3,43 m	Distanz D - F6: 5,55 m

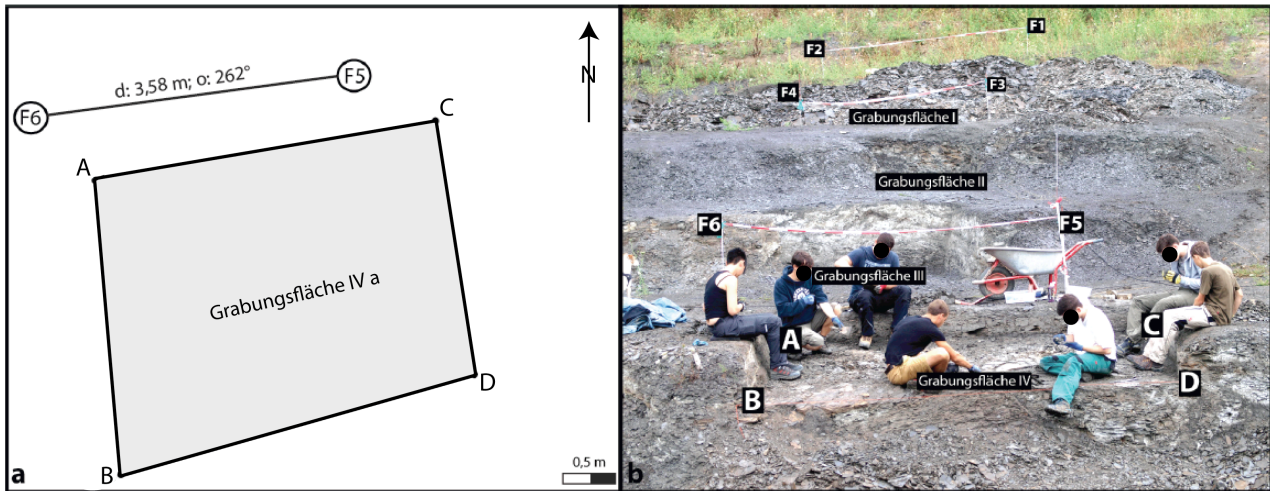


Abbildung 21: a. Schematische Lage der Grabungsfläche IV a (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche IV a (Blick nach Norden).

Grabungsfläche IV b

Die Grabungsfläche IV a wurde am 03. September 2015 um die Hälfte verkleinert (Abb. 22). Die neue Grabungsfläche IV b umfasste die westliche Hälfte der Grabungsfläche IV a ($5,92 \text{ m}^2$). Bis zum 24. September 2015 wurde in einem 200 mm mächtigen Profilabschnitt $1,18 \text{ m}^3$ Material abgetragen (Schichten 27 und 26; vgl. Abb. 17). Die Fixpunkte F5 und F6 wurden auch hier wieder zum Einmessen der Funde verwendet. Die Eckpunkte A und B der Grabungsfläche IV wurden beibehalten, die Distanzen der Eckpunkte C und D zu den Fixpunkten F5/F6 wurden neu vermessen:

Distanz C - F5: 1,22 m	Distanz C - F6: 2,70 m
Distanz D - F5: 3,75 m	Distanz D - F6: 4,62 m

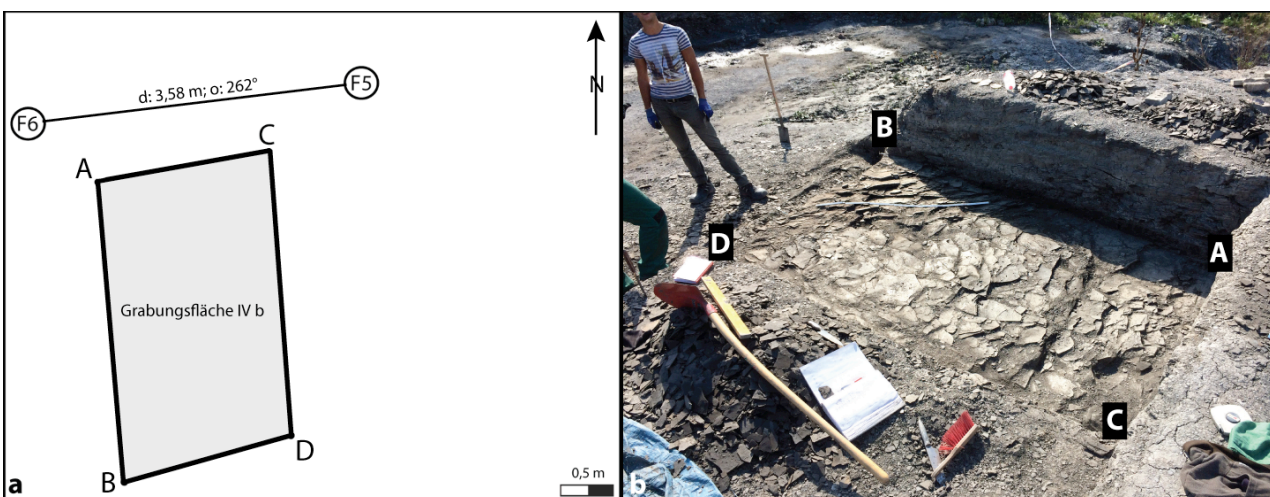


Abbildung 22: a. Schematische Lage der Grabungsfläche IV b (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche IV b (Blick nach Südwesten).

2. MATERIAL & METHODEN

Grabungsfläche IV c

Am 27. September 2015 wurde die Grabungsfläche IV b ebenfalls halbiert. Die neue Grabungsfläche IV c betrug $3,2 \text{ m}^2$ (Abb. 23). Insgesamt wurden $0,96 \text{ m}^3$ Material in einem 300 mm mächtigen Profilabschnitt umgesetzt (Schichten 25 bis 23; vgl. Abb. 17). Die Eckpunkte C und D der Grabungsfläche IV b wurden beibehalten. A und B wurden neu eingemessen:

Distanz A - F5: 2,05 m Distanz A - F6: 1,82 m

Distanz B - F5: 4,22 m Distanz B - F6: 4,26 m

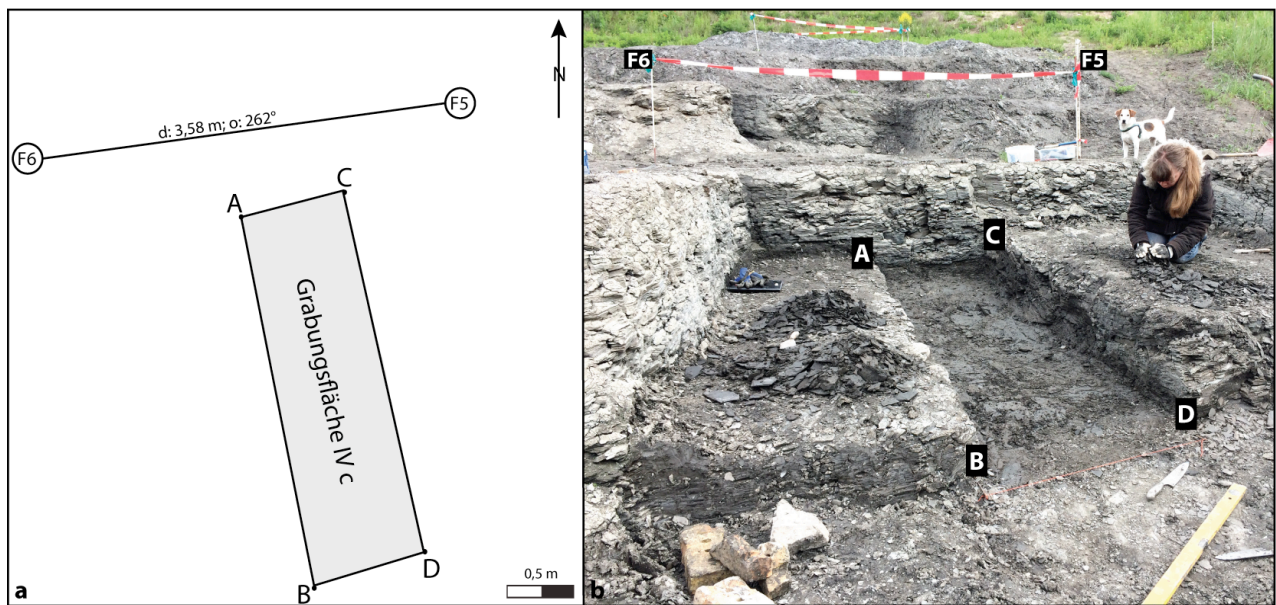


Abbildung 23: a. Schematische Lage der Grabungsfläche IV c (F5, F6: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche (Blick nach Nordosten).

Die Grabungskampagne 2015 musste in der Schicht 25 wegen anhaltender Regenfälle im Oktober beendet werden. Nach der Winterpause war im Februar 2016 die gesamte Grube mit Wasser gefüllt. Erst Ende April erlaubten die Wetterverhältnisse eine Fortsetzung der Grabungsarbeiten. Nach Abpumpen des Grubenwassers durch die Freiwillige Feuerwehr der Stadt Rauenberg wurde die Grabungskampagne 2016 am 17. Mai auf der Grabungsfläche IV c fortgesetzt.

Grabungsfläche V a

Anhaltende Regenfällen im Mai unterbrachen die Grabungskampagne erneut und am 01. Juni 2016 wurde die neue Grabungsfläche V a südlich der Grabungsfläche IV c angelegt. Aufgrund der Geländemorphologie musste diese Grabungsfläche dreieckig angelegt werden. Die Grabungsfläche V a betrug $2,89 \text{ m}^2$ (Abb. 24). Es wurden $0,28 \text{ m}^3$ Material in einem 100 mm mächtigen Profilabschnitt umgesetzt (Schicht 22; vgl. Abb. 17). Die beiden Fixpunkte F7 und F8 wurden im Südwesten der Grabungsfläche gesetzt. Die Distanz zwischen F7 und F8 betrug 3,58 m

und die Verbindungslinie der beiden Fixpunkte hatte eine WNW-Orientierung (290°).

Abstände von den Fixpunkten zu den Eckpunkten der Grabungsfläche (A, B, C):

Distanz A - F7: 1,61 m	Distanz A - F8: 2,68 m
Distanz B - F7: 3,90 m	Distanz B - F8: 3,10 m
Distanz C - F7: 3,03 m	Distanz C - F8: 1,05 m

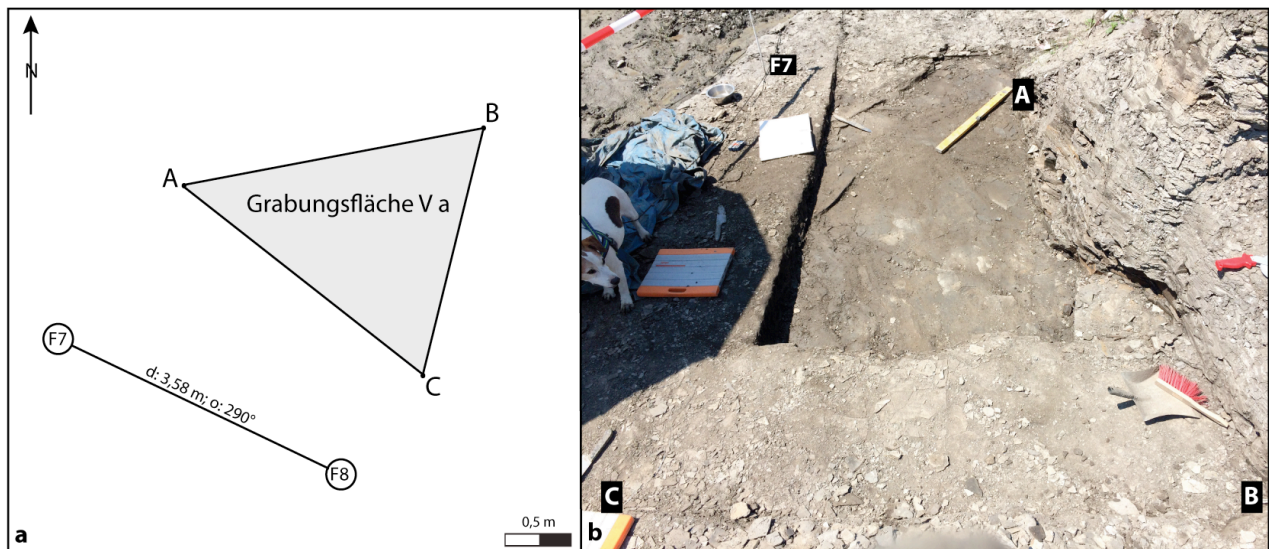


Abbildung 24: a. Schematische Lage der Grabungsfläche V a (F7, F8: Fixpunkt; A, B, C: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche V (Blick nach Westen).

Grabungsfläche V b

Die Geländemorphologie erlaubte eine Erweiterung der ehemaligen Grabungsfläche V a auf einen rechteckigen Umriss (Abb. 25). Die neue Grabungsfläche V b hatte eine Fläche von $6,76 \text{ m}^2$. Im Zeitraum vom 02. Juni bis zum 22. August 2016 wurden $6,42 \text{ m}^3$ Material in einem 950 mm mächtigen Profilabschnitt abgetragen (Schichten 21 bis 13; vgl. Abb. 17). Die Fixpunkte F7 und F8 wurden weiterhin verwendet.

Abstände von den Fixpunkten zu den Eckpunkten der Grabungsfläche (A, B, C, D):

Distanz A - F7: 1,98 m	Distanz A - F8: 3,97 m
Distanz B - F7: 3,18 m	Distanz B - F8: 2,77 m
Distanz C - F7: 2,44 m	Distanz C - F8: 1,05 m
Distanz D - F7: 1,22 m	Distanz D - F8: 3,80 m

2. MATERIAL & METHODEN

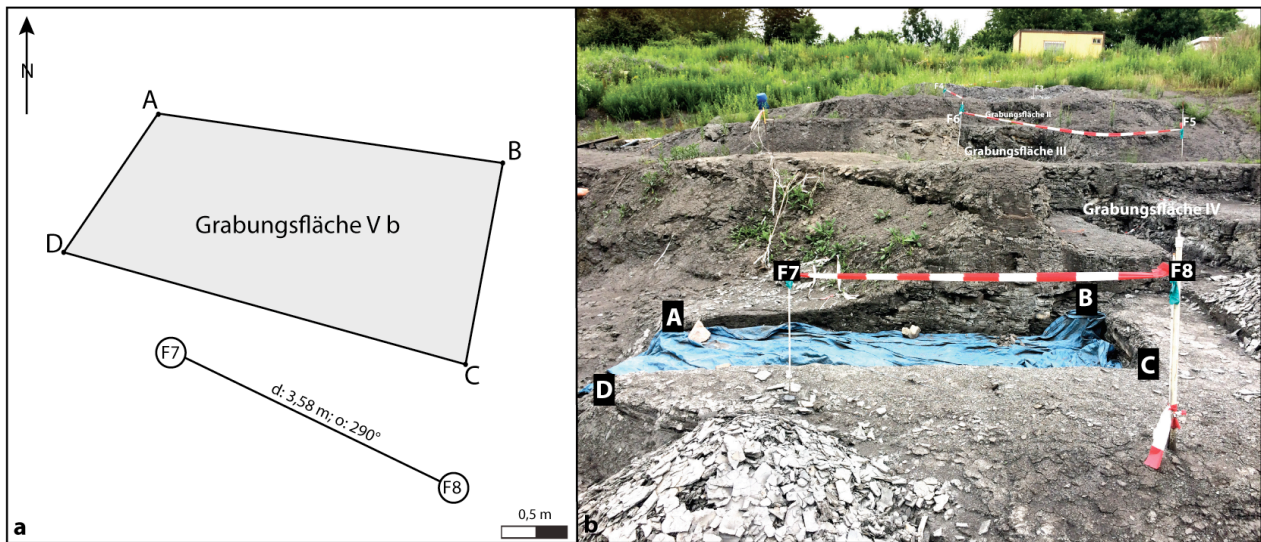


Abbildung 25: a. Schematische Lage der Grabungsfläche V b (F7, F8: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche V b (Blick nach Norden).

Grabungsfläche VI a

Die neue Grabungsfläche VI a schloss sich westlich an die Grabungsfläche V b an (Abb. 26). Auf einer Fläche von $5,34 \text{ m}^2$ wurde in dem Zeitraum vom 22. August bis zum 01. September 2016 $1,87 \text{ m}^3$ Material in einem 350 mm mächtigen Profilabschnitt abgetragen (Schichten 12 bis 10; vgl. Abb. 17). Es wurden die Fixpunkte F9 und F10 mit einer Distanz von 1,34 m und einer NW-Orientierung ihrer Verbindungslinie (310°) westlich der Grabungsfläche VI a eingerichtet.

Abstände von den Fixpunkten zu den Eckpunkten der Grabungsfläche (A, B, C, D):

Distanz A - F9: 3,10 m	Distanz A - F10: 1,80 m
Distanz B - F9: 3,09 m	Distanz B - F10: 2,10 m
Distanz C - F9: 1,34 m	Distanz C - F10: 2,65 m
Distanz D - F9: 2,18 m	Distanz D - F10: 3,37 m

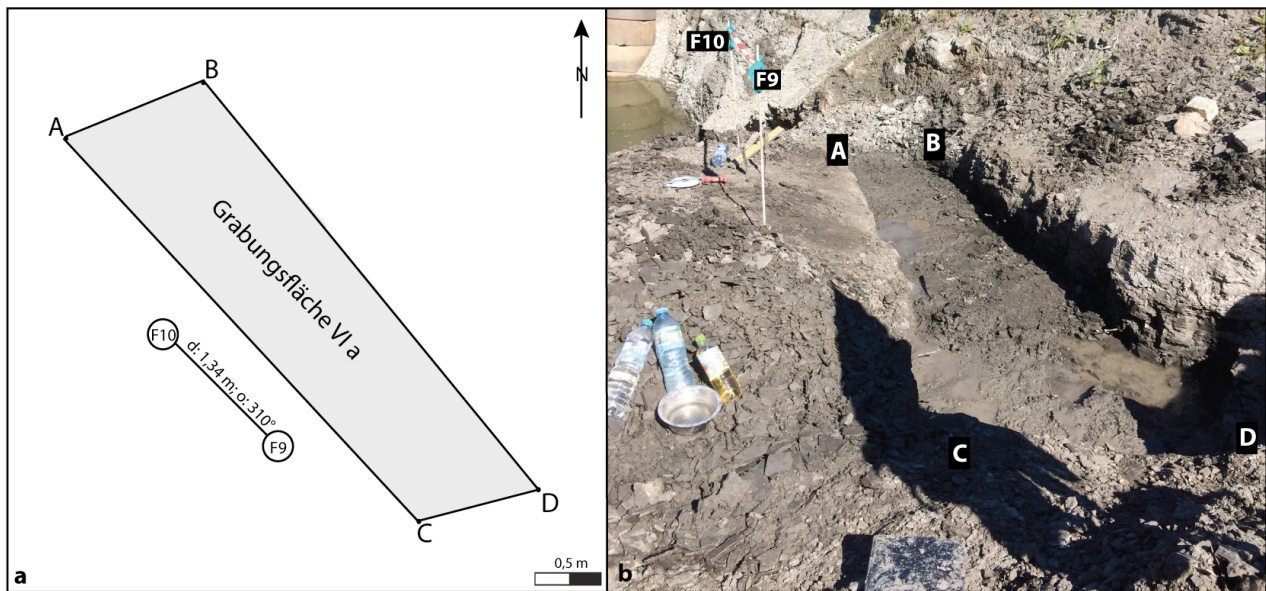


Abbildung 26: a. Schematische Lage der Grabungsfläche VI a (F9, F10: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VI a (Blick nach Nordwesten).

Ab dem Niveau der Grabungsfläche VI a und bis zur Schicht 1 im Liegenden gab es große Probleme mit Kluftwasser, welches regelmäßig die Grabungsflächen überflutete. Es musste unablässig Wasser abgeschöpft werden. Auch der Schlamm bereitete Probleme.

Grabungsfläche VI b

Aufgrund des kontinuierlichen Eindringens von Wasser musste das südliche Drittel der Grabungsfläche VI a aufgegeben werden. Die neue Grabungsfläche VI b lag im nördlichen Bereich der vorherigen Grabungsfläche VI a (Abb. 27). Auf einer Fläche von 1,55 m² wurde in dem Zeitraum vom 01. September bis zum 07. September 2016 0,47 m³ Material in einem 300 mm mächtigen Profilabschnitt abgetragen (Schichten 9 bis 7; vgl. Abb. 17). Die Fixpunkte F9 und F10 wurden weiterhin verwendet. Die Eckpunkte A und B der Grabungsfläche VI a wurden beibehalten, die Distanzen der Eckpunkte C und D zu den Fixpunkten wurden neu vermessen:

Distanz C - F9: 0,74 m

Distanz C - F10: 1,46 m

Distanz D - F9: 1,68 m

Distanz D - F10: 2,14 m

2. MATERIAL & METHODEN

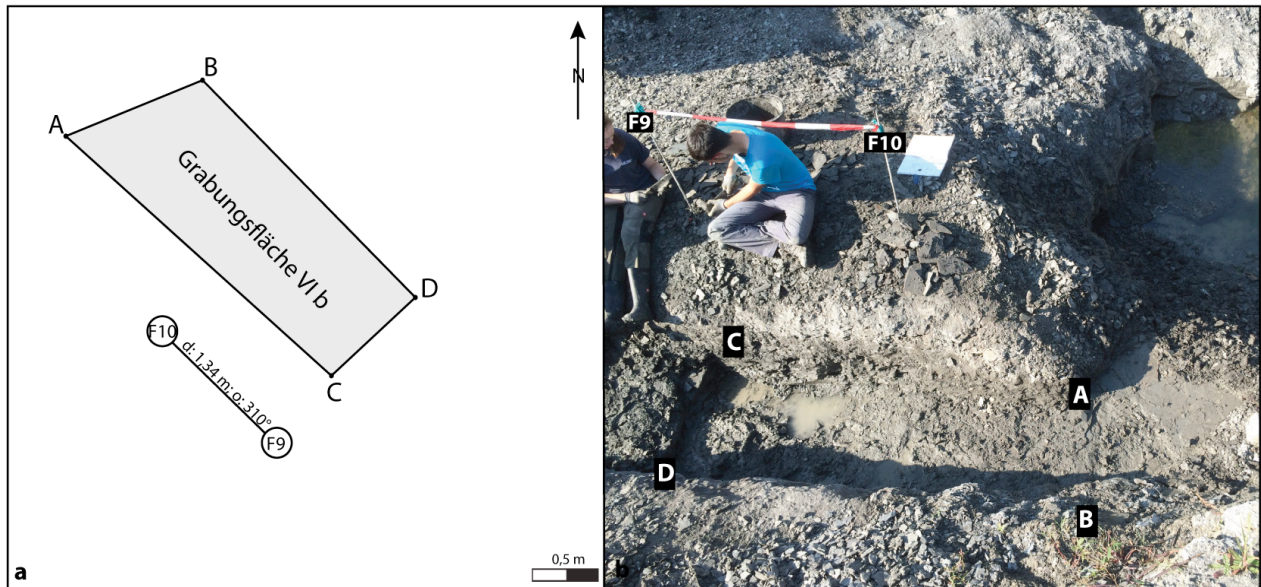


Abbildung 27: a. Schematische Lage der Grabungsfläche VI b (F9, F10: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VI b (Blick nach Südwesten).

Grabungsfläche VII a

Die neue Grabungsfläche VII a schloss sich direkt nördlich an die Grabungsfläche VI b an und war trapezoid angelegt (Abb. 28). Die Geländemorphologie und der angrenzende Pumpensumpf, der zur Wasserhaltung in der Grube eingerichtet wurde, erlaubten keinen rechteckigen Umriss für diese Grabungsfläche. Auf einer Fläche von $2,95 \text{ m}^2$ wurden in dem Zeitraum vom 07. September bis zum 14. September 2016 $0,89 \text{ m}^3$ Material in einem 300 mm mächtigen Schichtpaket abgetragen (Schichten 6 bis 4; vgl. Abb. 17). Es wurde der Fixpunkt F10 weiterhin verwendet und F11 neu eingerichtet. Die Distanz zwischen F10 und F11 betrug 1,38 m mit einer SW-Orientierung (230°) der Verbindung der beiden Fixpunkte.

Abstände von den Fixpunkten zu den Eckpunkten der Grabungsfläche (A, B, C, D):

Distanz A - F10: 1,80 m	Distanz A - F11: 3,08 m
Distanz B - F10: 1,13 m	Distanz B - F11: 1,50 m
Distanz C - F10: 2,73 m	Distanz C - F11: 3,50 m
Distanz D - F10: 2,70 m	Distanz D - F11: 3,08 m

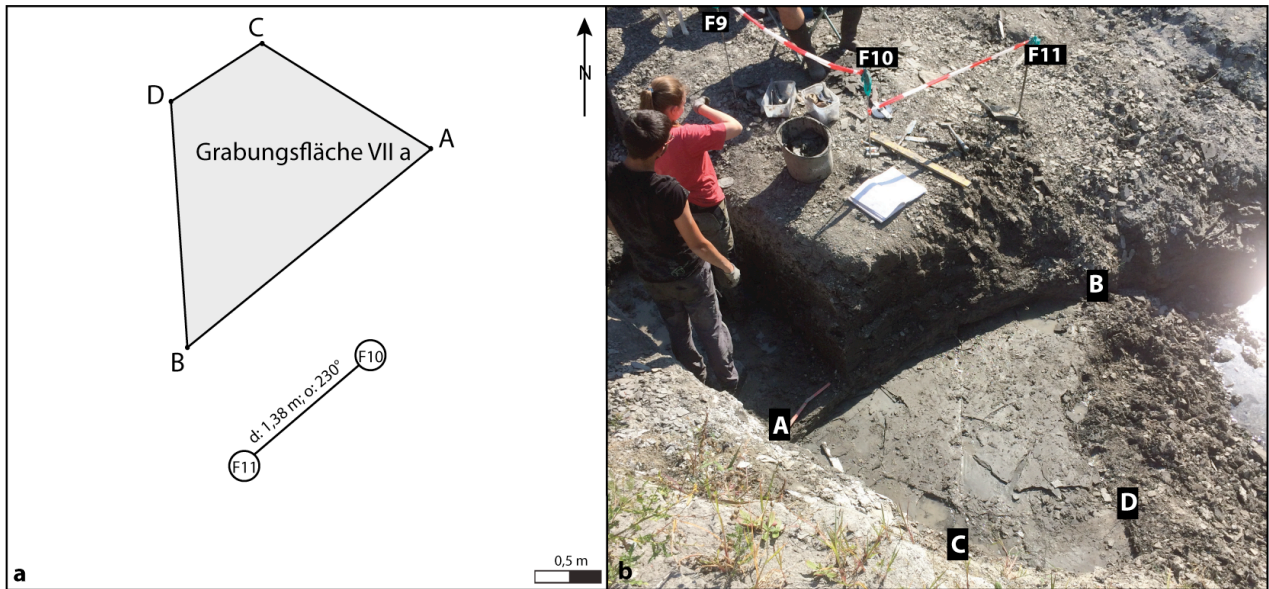


Abbildung 28: a. Schematische Lage der Grabungsfläche VII a (F10, F11: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VII a (Blick nach Süden).

Grabungsfläche VII b

Die Grabungsfläche VII a wurde auf die Grabungsfläche VII b verkleinert. Die neue Grabungsfläche VII b umfasste den westlichen Teil der Grabungsfläche VII a und hatte ebenfalls einen trapezoiden Umriss (Abb. 29). Auf einer Fläche von $1,80 \text{ m}^2$ wurde in dem Zeitraum vom 14. September bis zum 21. September 2016 $0,54 \text{ m}^3$ Material in einem 300 mm mächtigen Profilabschnitt abgetragen (Schichten 3 bis 1; vgl. Abb. 17). F10 und F11 wurden weiterhin verwendet. Die Eckpunkte B und D der Grabungsfläche VII a wurden beibehalten. Die Abstände der Eckpunkte A und C der Grabungsfläche VII b zu den Fixpunkten wurde neu vermessen:

Distanz A - F10: 1,08 m	Distanz A - F11: 2,08 m
Distanz C - F10: 2,70 m	Distanz C - F11: 3,35 m

2. MATERIAL & METHODEN

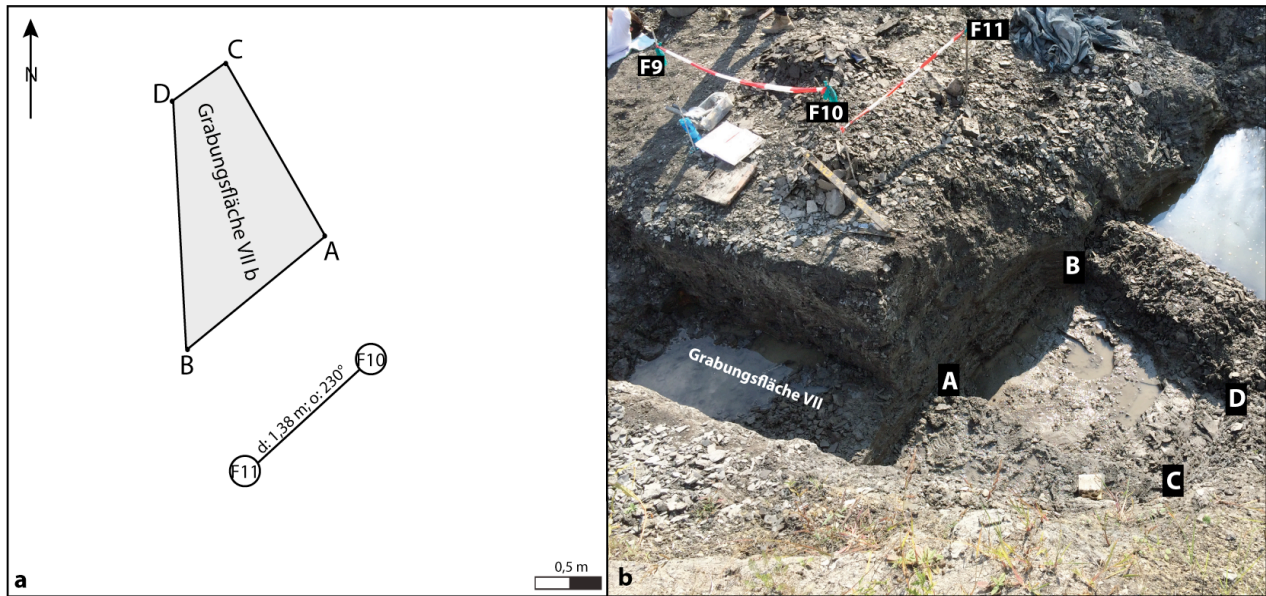


Abbildung 29: Schematische Lage der Grabungsfläche VII b (F10, F11: Fixpunkte; A, B, C, D: Eckpunkte der Grabungsfläche; d: Distanz; o: Orientierung); b. Aufschluss der Grabungsfläche VII b (Blick nach Südwesten).

2.2.1.2. Amateurgrabung

Die Amateurgrabung hatte zum Ziel durch den Umsatz von möglichst viel Sediment größere Fossilfunde zu tätigen. Die Feinstratigraphie spielte dabei bei einer Abbauhöhe von lediglich gut einem Meter keine Rolle. Der Materialumsatz ist nur schwer abzuschätzen, betrug aber vermutlich zwischen 50 und 75 m³. Die ehrenamtlichen Mitarbeiter waren angehalten, jeden Fund zu melden. Diese wurden im Fundbuch mit fortlaufender Nummer eingetragen. Laterale Positionen und genaue vertikale Fundniveaus konnten dabei aus organisatorischen Gründen nicht aufgenommen werden. Die Grabungsfläche der Amateurgrabung befand sich im Süden der aufgelassenen Grube (Abb. 30).



Abbildung 30: Areal der Amateurgrabung (Blick nach Südwesten; die Höhe der Berme beträgt einen guten Meter; Funde wurden hier nicht eingemessen; F3: Fixpunkt der Grabungsfläche II).

2.2.2. Präparation

Eine Präparation erfolgte nur bei Funden mit besonders guter Erhaltung oder wenn eine genauere Bestimmung erforderlich war. Dazu wurden die folgenden drei Methoden angewandt:

2.2.2.1. Schnellumbettung (nach KAISER & MICKLICH 1995):

Das Fossil wird grob freigelegt und mit niedrigviskosem Sekundenkleber (*Starbond glue superfast thin* EM-02) überzogen. Der Akemi Marmorkit 1000 (transparent) wird mit einer Härter-Paste vermischt, bis ein hochviskoses Polyesterharz entsteht. Dieses wird großzügig in einer ca. 30 mm dicken Schicht auf das Fossil aufgetragen und anschließend mit Zeitungspapier angedrückt. Nach dem Aushärten des Polyesterharzes wird die fossilführende Sedimentschicht in Wasser gelegt. Nach einer bis eineinhalb Stunden wird der Tonstein abgenommen, so dass die Gegenseite des Fossils zum Vorschein kommt. Feinere Tonreste werden gegebenenfalls unter fließendem Wasser mit einer Zahnbürste entfernt.

2.2.2.2. Glycerin

Überreste von Pflanzen (Embryophyta) und Insekten (Insecta) wurden formatiert und mehrere Tage in Glycerin eingelegt. Dabei erfolgt ein Austausch von Wasser im Gestein durch das Glycerin. Das

2. MATERIAL & METHODEN

macht Pflanzen- und Insektenmaterial haltbar, da es sich nach der Glycerinbehandlung nicht mehr von der Matrix lösen lässt. Die Farbe des Sediments bleibt tiefschwarz, wie bei frisch abgebautem Material. Es wurden nur Pflanzen- und Insektenreste mit Schaupotential für die Sammlung des SMNK auf diese Weise behandelt.

2.2.2.3. Trocknen

Pflanzenreste, die für die wissenschaftliche Bearbeitung und Bestimmung herangezogen wurden, wurden langsam in feuchtem Zeitungspapier getrocknet. Das langsame Trocknen verhinderte zwar langfristig nicht ein langsames Ablösen des Pflanzenmaterials von der Matrix, erlaubt aber eine Untersuchung der Kutikeln.

2.2.3. Photographie und Bildbearbeitung

Nahaufnahmen von Fossilien wurden mit einer Olympus E3 mit einem Makroobjektiv Zuiko Digital 50 mm gemacht. Panorama- und Aufschlussbilder in der Tongrube wurden mit der Kamera des Apple iPhone 5s aufgenommen. Die anschließende Bildbearbeitung erfolgte mit Adobe Photoshop CS3. Graphiken und Diagramme wurden mit Adobe Illustrator CS3 angefertigt. Die Richtungsrosen wurden mit Stereonet 7 erstellt.

2.2.4. Datenverwaltung

Jedes Sammlungsexemplar erhielt eine fortlaufende Arbeitsnummer und wurde mit den folgenden Kategorien in einer Libre Office Calculator-Tabelle eingetragen: Sammlung, Sammlungsnummer, Standort, erhaltene Elemente, Erhaltungszustand, Körperhaltung (Knochenfische, Teleostei), Zerfallsstufe (Wirbeltiere, Vertebrata), Bemerkungen (z. B. Etikettenbeschriftung), deutsche Bezeichnung, höheres Taxon, Taxon, Erstbeschreibung, Zitate, Fundort, Stratigraphie, Finder, Funddatum, Bearbeitungsdatum und Fotodokumentation.

Während der Grabungsarbeiten entstanden drei unterschiedliche Datensätze: 1.) die eingemessenen Funde, 2.) die in Strichlisten gezählten Überreste aus der wissenschaftlichen Grabung und 3.) die Funde aus der Amateurgrabung. Die eingemessenen Funde der wissenschaftlichen Grabung und die Funde aus der Amateurgrabung wurden mit fortlaufender Fundnummer im Fundbuch aufgenommen. Dieses Fundbuch wurde in einer Libre Office Calculator-Tabelle mit den folgenden Kategorien digitalisiert: Fundnummer, Taxon, höheres Taxon, Fundniveau, Fundschicht, erhaltene Elemente, Erhaltungszustand, Körperhaltung (Knochenfisch, Teleostei), Zerfallsstufe (Wirbeltiere, Vertebrata), Präparationsstand, Präparator, geborgen (J/N), Finder, Funddatum, Bemerkungen, Verbleib (falls

geborgen), Distanz zu den Fixpunkten, Orientierung und Fotodokumentation. Die Strichlisten wurden für jede Schicht ausgezählt. Die Erfassung der Sammlungskataloge und der Fundbücher in Tabellenform mit Libre Office Calculator ermöglichte die statistische Auswertung mit Hilfe von Formeln und Filterfunktionen.

2.2.5. Taxonomische Analyse

Eine Zusammenführung der Daten aus Sammlungen und Grabungen ergab eine Arbeitsdatenbank mit 15.675 taxonomisch identifizierten Exemplaren.

Die Bestimmung der Stücke in den Sammlungen erfolgte anhand der Etikettenbeschriftung aber auch nach den mündlichen Mitteilungen der jeweiligen Sammlungsbearbeiter, um den neusten Stand der Nomenklatur zu erfassen. Grabungsfunde wurden wenn möglich im Gelände bestimmt. Im Gelände nicht bestimmbare Funde, bei denen es die Erhaltung erlaubte, wurden den entsprechenden Spezialisten übergeben. Auf diese Weise wurde für diese Arbeit für jedes ausgewertete Exemplar das sicherste taxonomische Niveau bestimmt.

Zu der Zeit als die botanischen Sammlungen des SMNK und SMNS für die vorliegende Arbeit erfasst wurde, war die Etikettenbeschriftung bezüglich der Gattungs- und Artbestimmung nicht auf dem aktuellen taxonomischen Wissensstand (mündl. Mitteilung J. Kovar-Eder 2016). Deshalb wurde hier zunächst auf Familienniveau gearbeitet. Auf der Grundlage von KOVAR-EDER (2016) wurden einige Sammlungsexemplare im Nachhinein mit aktualisierten taxonomischen Bezeichnungen erfasst.

Die Häufigkeit und Diversität der Wirbeltier (Vertebrata) wird anhand von Ganzkörperfossilien und Körperteilen (Zerfallsstufen 1 bis 8) dargestellt. Einzelelemente (Zerfallsstufen 9 und 10) werden hier nicht berücksichtigt, da sie kein eindeutiger Beleg für ein zu zählendes Individuum sind (vgl. Kap. 2.2.6). Dazu zählen z. B. Fischzähne, Kiemenreusendornen, Schuppen und Knochen, die in einem Individuum in Vielzahl vorkommen.

Insgesamt fünf Sammlungskataloge und drei Fundbücher wurden separat ausgewertet. Zum Auszählen der Taxa in den Datenbanken wurden die Funktionen "COUNTIF" sowie die Filterfunktion in Kombination mit dem Befehl "SUBTOTAL" benutzt. Aus den resultierenden Datensätzen wurden Diagramme erstellt. In den Säulen- und Kreisdiagrammen wurden zur Darstellung der Taxonomie meist Ordnungen, seltener auch Teilklassen oder Familien verwendet (Tab. 3).

2. MATERIAL & METHODEN

Tabelle 3: Überblick über die verwendeten taxonomischen Kategorien.

Embryophyta		Invertebrata		Vertebrata	
Phycophyta	Phaeophyta	Gastropoda	Sorbeoconcha	Chondrichthyes	Chimaeriformes
	Rhodophyta	Bivalvia	Heteroconchia		Lamniiformes
Polypodiopsida	Polypodiales		Pteriomorphia		Carcharhiniiformes
	Schizaeales		Nuculoidea		Hexanchiiformes
Cycadopsida	Cycadales	Echinoidea	Cidaroida		Myliobatiformes
Coniferopsida	Coniferales		Spatangoida	Teleostei	Elopiformes
Magnoliopsida	Laurales	Chelicerata	Arachnida		Clupeiformes
	Alismatales	Crustaceae	Decapoda		Lampriformes
	Arecales		Cirripedia		Gadiformes
	Proteales	Insecta	Zygoptera		Percomorphaceae
	Oxalidales		Orthoptera		Ophidiiformes
	Malpighiales		Hemiptera		Syngnathiiformes
	Fagales		Diptera		Scombriformes
	Malvales		Coleoptera		Carangiformes
	Saxifragales		Hymenoptera		Pleuronectiformes
	Cornales		Lepidoptera		Belontiiformes
	Euricales				Ephippiformes
	Fabales				Spariformes
	Gentianales				Chaetodontiformes
	Lamiales				Lophiiformes
					Centrarchiformes
					Perciformes
				Testudinata	Trionychidae
					Cheloniidae
				Crocodylia	Crocodylia indet.
				Aves	Gaviiformes
					Procellariiformes
					Apodiformes
					Charadriiformes
					Coliiformes
					Trogoniformes
					Coraciiformes
					Piciformes
					Passeriformes
				Mammalia	Sirenia
					Chiroptera
					Creodonta

Die Ergebnisse über die vertikale Häufigkeit und Diversität der Taxa wurden durch ein Auszählen der Individuen pro Schicht erzielt. Die Summen wurden auf 1 m² heruntergerechnet, da die Grabungsflächen unterschiedlich groß waren (vgl. Kap. 2.2.1.1.).

Schließlich liefert der taxonomische Aktualismus nach DODD & STANTON (1990) Hinweise auf die Paläoökologie der untersuchten Taxa mit der Annahme, dass die Ökologie fossiler Arten derjenigen der nächsten lebenden Verwandten ähnelt (ETTER 1994). Die Methode wird umso genauer, je höher das taxonomische Niveau ist, das verglichen wird.

Die Pflanzensystematik folgt der 36. Auflage des „Straßburger - Lehrbuch für Botanik“ (BRESINSKI et al. 2008), diejenige der Wirbellosen (Invertebrata) der 6. Auflage der „Systematischen Zoologie“ (STORCH & WELSCH 2003) und diejenige der Knorpelfische (Chondrichthyes) und Landwirbeltiere (Tetrapoda) der 1. Auflage der „Speziellen Zoologie - Teil 2: Wirbel- oder

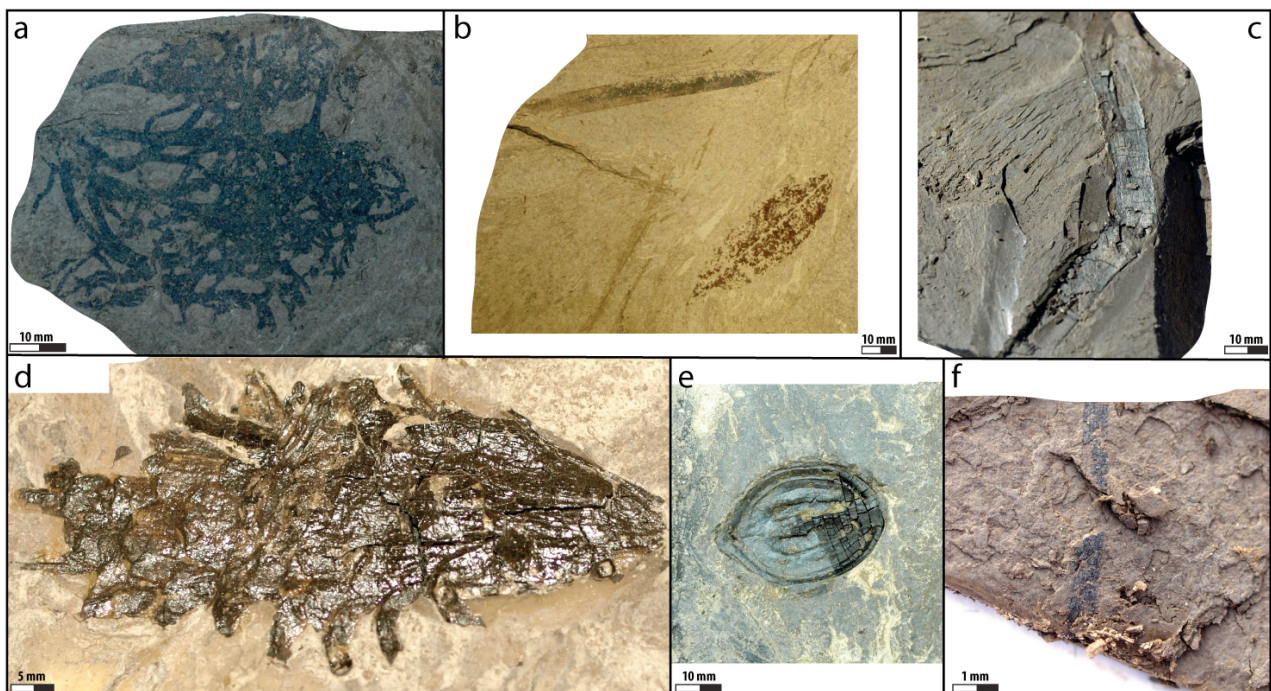
Schädeltiere“ (WESTHEIDE & RIEGER 2004). Die Systematik der Knochenfische (Teleostei) orientiert sich an der aktuellen Revision der Knochenfischsystematik von BETANCUR-R., R. et al. (2013).

2.2.6. Taphonomische Analyse

Pflanzen (Embryophyta) und Wirbellose (Makroinvertebrata) wurden anhand der erhaltenen Elemente kategorisiert (Tafel 1, 2). Für Wirbeltiere (Vertebrata) wurden zehn Zerfallsstufen, welche die erhaltenen Elemente und den Artikulationsgrad beinhalten, festgelegt (Tab. 4, Tafel 3, 4, 5).

Erhaltene Elemente der Pflanzen (Embryophyta, Tafel 1):

1. Lager (Phycophyta)
2. Blätter (Coniferopsida/Magnoliopsida)
3. Holz (Spermatophytina indet.)
4. Zweige (Coniferopsida/Magnoliopsida)
5. Blüten (Magnoliopsida)
6. Zapfen (Coniferopsida)
7. Fruktifikationen (Coniferopsida/Magnoliopsida)
8. Fragmente (Embryophyta indet.)

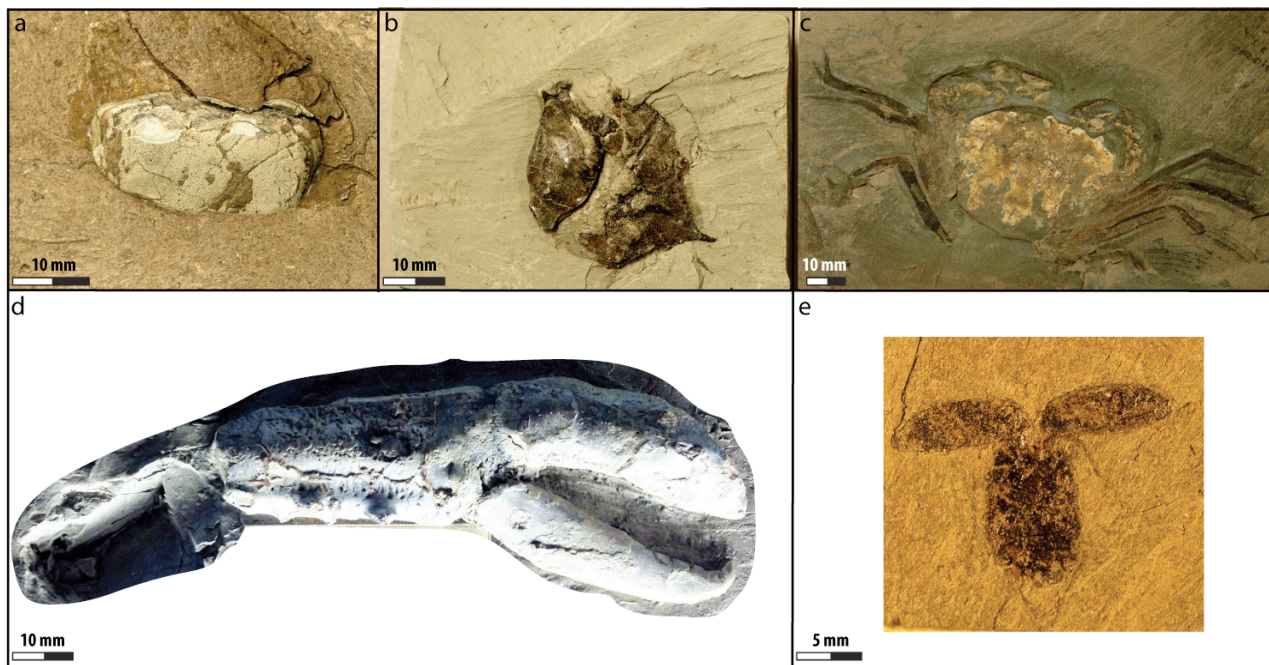


Tafel 1: Beispiele für fossil erhaltenen Elemente der Pflanzen (Embryophyta): a. Lager (*Rhodophyta* indet., SMNS-P 1952-205), b. Blatt (oben *Zosteraceae* indet. und unten *Platanaceae* indet., Magnoliopsida, SMNS-P1952/97), c. Holz (*Spermatophytina* indet.), d. Zapfen (*Pinus* sp., SMNK-PAL. 7706); e. Fruktifikation (*Carya quadrangula*, SMNS-P1952-159), f. Fragment (*Embryophyta* indet.).

2. MATERIAL & METHODEN

Erhaltene Elemente der Wirbellosen (Makroinvertebrata, Tafel 2):

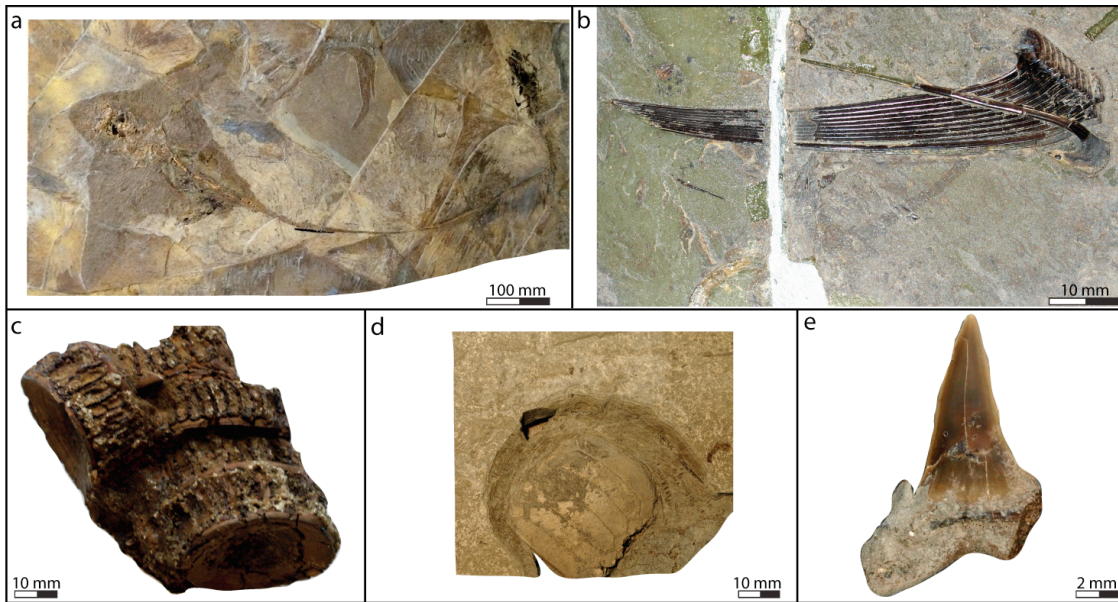
1. Kalzitschale (Mollusca)
2. Kalzitskelette (Echinodermata)
3. Chitin-Calcitpanzer (Crustacea), Chitinpanzer (Tracheata)
4. vollständige Ganzkörper
5. Ganzkörper ohne Caput/Extremitäten (Arthropoda)
6. Einzelelemente
7. Fragmente



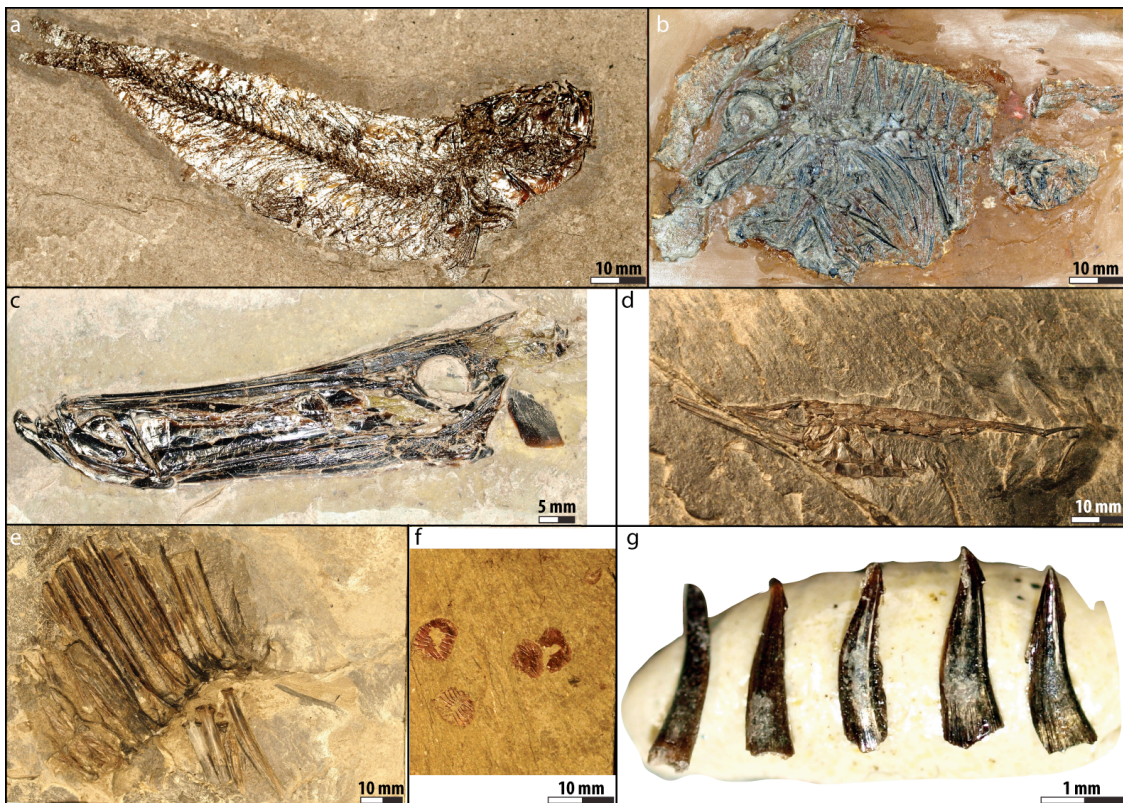
Tafel 2: Beispiele für erhaltene Elemente der Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Schale (*Panopea* sp., SMNK-PAL 774), b. Panzer (Mathildellidae indet., SMNK-PAL. 7363), c. Ganzkörperfossil (Crustacea indet., SMNK-PAL. 8391); d. Einzelelement (Chela, *Homarus* sp., GEOW), e. Ganzkörper ohne Caput und Extremitäten fehlen (Coleoptera indet., SMNS: Konv. Oechsler 75/2014, 39).

Tabelle 4: Definition der verwendeten Zerfallsstufen für Wirbeltiere (Vertebrata).

Zerfallsstufe	Definition
Stufe 1	vollständiger Ganzkörper (artikuliert)
Stufe 2	vollständiger Ganzkörper (disartikuliert)
Stufe 3	fragmentierter Ganzkörper (artikuliert)
Stufe 4	fragmentierter Ganzkörper (disartikuliert)
Stufe 5	artikulierte Körperteile
Stufe 6	artikulierte Körperteile (fragmentiert)
Stufe 7	disartikulierte, assoziierte Körperteile (vollständig)
Stufe 8	disartikulierte, assoziierte Körperteile (fragmentiert)
Stufe 9	Einzelelemente (vollständig)
Stufe 10	Einzelelemente (fragmentiert)

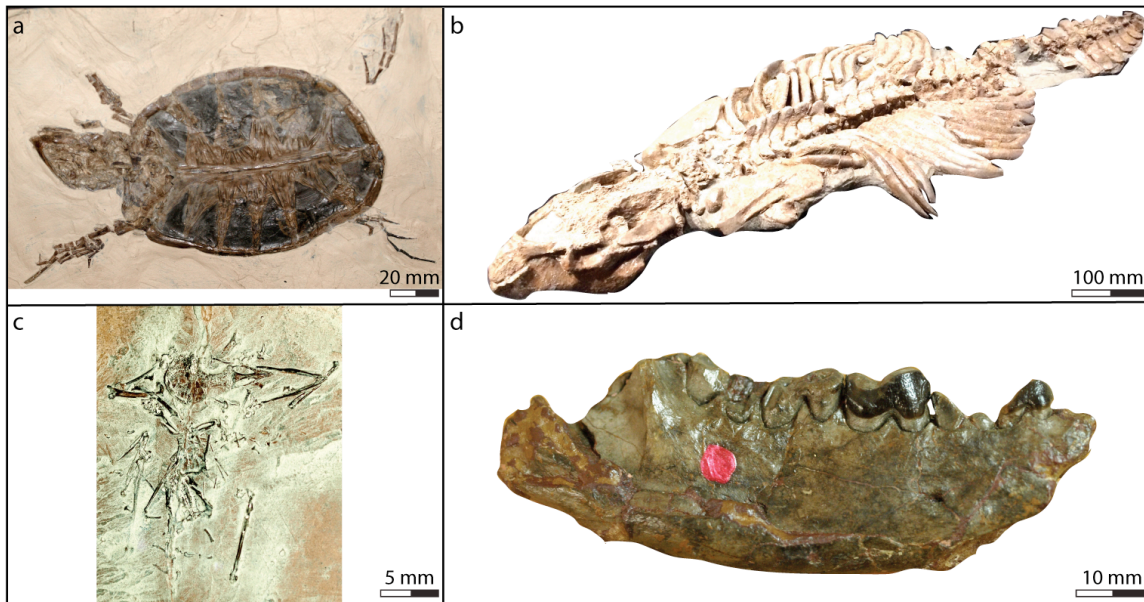


Tafel 3: Beispiele für Zerfallsstufen der Knorpelfische (Chondrichthyes): a. Stufe 3: artikulierter, fragmentierter Ganzkörper (*Weissobatis micklichi*, SMF-P 9756), b. Stufe 6: fragmentiertes Kiemenreusendornbündel (*Keasius parvus*, HLMD-WT 912), c. Stufe 8: assoziierte, disartikulierte und fragmentierte Körperteile (Vertebrae, *Carcharias cuspidata*, GEOW), d. Stufe 9: vollständige Kauplatte (*Weissobatis micklichi*, SMNS 87457/2), e. Stufe 10: fragmentierter Zahn (*Isurulamna gracilis*, HLMD-SMFF 348).



Tafel 4: Beispiele für Zerfallsstufen der Knochenfische (Teleostei): a. Stufe 1: vollständig artikulierter Ganzkörper (Clupeidae indet., SMNK-PAL. 6899), b. Stufe 4: fragmentierter, disartikulierter Ganzkörper (*Leiognathus* cf. *altapinna*, HLMD-SMFF 257), c. Stufe 5: artikulierte Körperteile (*Aulostomus medius*, HLMD-WT 886), d. Stufe 5: artikulierte Körperteile (*Aeoliscus* sp., SMNS-80739/13), e. Stufe 5: artikulierte Körperteile (Dorsale, Perciformes indet., SMNS-85947/21), f. Stufe 10: fragmentierte Rundschuppen (Clupeidae indet., SMNS-87457/241), g. Stufe 10: fragmentierte Zähne (*Eutrachirides delheidi*, HLMD-SMFF 545).

2. MATERIAL & METHODEN



Tafel 5: Beispiele für Zerfallsstufen der Landwirbeltiere (Tetrapoda): a. Stufe 2: artikulierter, fragmentierter Ganzkörper (Testudinata indet., SMNK-PAL 7575), b. Stufe 3: artikulierter, fragmentierter Ganzkörper ("*Kaupitherium* cf. *schinzii*", HLMD-WT 701), b. Stufe 4: disartikulierter, fragmentierter Ganzkörper (*Rupelrhamphastoides knopfi* MAYR 2006, SMNK-PAL 4334), c. Stufe 10: fragmentiertes Einzelelement (rechte Unterkieferhälfte, *Apterodon rauenbergensis* FREY et al. 2010, SMNK-PAL 6524).

Insgesamt wurden 33.087 Exemplare taphonomisch ausgewertet. Der Datensatz „Zerfallsstufe“ wurde in Verbindung mit den Taxa in den Libre Office Calculator-Tabellen mit den oben genannten Befehlen ausgezählt. Aus den resultierenden Datensätzen wurden Linien- und Säulendiagramme erstellt.

Die Ergebnisse über die vertikale Häufigkeit und Diversität der erhaltenen Elemente der Pflanzen (Embryophyta) und Wirbellose (Makroinvertebrata) sowie der Zerfallsstufen der Wirbeltiere (Vertebrata) wurden ebenfalls durch ein Auszählen der Individuen für jede Schicht erzielt (vgl. Kap. 2.2.1.1.).

2.2.7. Erfassung der Jungfische

Die Identifizierung der juvenilen Knochenfische (Teleostei) erfolgte sowohl über die Etikettenbeschriftung und Publikationen (z. B. MICKLICH et al. 2009), als auch über Größenvermessung. Für die häufigsten Taxa, vor allem Heringe (Clupeidae) und der Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae) wurden Exemplare mit weniger als 50 % der Adulltlänge als „Jungfisch“ definiert. Eine taxonbezogene Auszählung in den Libre Office Calculator-Tabellen mit den oben genannten Funktionen erbrachte Ergebnisse über die Häufigkeit

und Diversität der Jungfische in den Sammlungen. Die während der wissenschaftlichen Grabung aufgefundenen Jungfische wurden mit den üblichen Metadaten (vgl. Kap. 2.2.1.1.) erfasst und mit der bereits genannten Methode in Bezug auf Taxonomie und Stratigraphie ausgewertet.

2.2.8. Erfassung von Foraminiferen-Lagen und Pflanzenhäcksel-Horizonten

Foraminiferen-Lagen und Pflanzenhäcksel-Horizonte wurden während den Grabungsarbeiten vertikal bezogen auf den nächsthöheren Hilfshorizont eingemessen und in einer Schicht zugeordnet. Mehrere Lagen innerhalb einer Schicht wurden getrennt aufgenommen.

Für die Foraminiferen wurde zwischen massenhaften Vorkommen ($\geq 10/10 \text{ mm}^2$) und vereinzeltem Vorkommen ($\leq 10/10 \text{ mm}^2$) unterschieden. Die Bestimmung erfolgte mit einer Lupe (10fache Vergrößerung) im Gelände.

3. Sedimentologie und Stratigraphie des Fischschiefers der Tongrube Unterfeld

3.1. Lithologie

Im Laufe der wissenschaftlichen Grabung wurde am Südrand der aufgelassenen Tongrube Unterfeld ein 5,60 m langes Profil aufgenommen (Diagr. 1, vgl. Kap. 2.2.1.1.). Das Profil ist durch die Lage der einzelnen Grabungsflächen auf den Bermen in mehrere Teilstücke zergliedert (vgl. Abb. 16, 17). Zwischen den Schichten 6 und 7, 12 und 13, 22 und 23, 32 und 33 sowie zwischen 41 und 43 befindet sich jeweils ein leichter Versatz von maximal zwei Metern. Zwischen den Schichten 41 bis 43 entstand durch diesen Versatz ein Hiatus von 100 mm Mächtigkeit (Schicht 42; Diagr. 1, vgl. Kap. 2.2.1.1.).

Die Abfolge besteht aus einer Wechsellagerung aus massigen, ungeschichteten sowie fein laminierten und auch deutlich geschichteten Ton- bis Siltsteinen. Die Sedimente sind grau bis dunkelgrau und in vielen Schichten von postsedimentären Gipsausblühungen durchzogen. Die sonst gleichförmige Lithologie wird in einigen Schichten durch sandige und weiße, krustige Lagen im Milimeter-Bereich unterbrochen. Sandige Lagen treten in den Schichten 20, 32, 46 und 49 auf (Diagr. 1). Weiße, krustige Lagen sind aus den Schichten 4 bis 7, 29, 35 und 41 bekannt (Diagr. 1). Einige Schichten sind zudem durch tektonische Verfäلتung gestört. Dies ist in den Schichten 18 bis 26 und 35 bis 41 der Fall. Insgesamt zeigen die Schichten der Tongrube Unterfeld ein Einfallen nach Norden. Dies ist auf das allgemeine Einfallen der gesamten Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ zurückzuführen (TRUNKÓ & MUNK 1998; vgl. Abb. 14). Dadurch treten im Süden der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ die Schichten der Pechelbronn-Formation (Oberes Eozän bis unterstes Oligozän) zu Tage, im Norden dagegen diejenigen der Bodenheimer-Formation und ehemals auch der *Meletta*-Schichten (Unteres Oligozän; TRUNKÓ & MUNK 1998; vgl. Kap. 1.2.). Bioturbation wurde sowohl in gut geschichteten Ablagerungen (Schicht 4 bis 6) und als auch in ungeschichteten Ablagerungen (Schicht 13 bis 14) nachgewiesen.

3. SEDIMENTOLOGIE & STRATIGRAPHIE

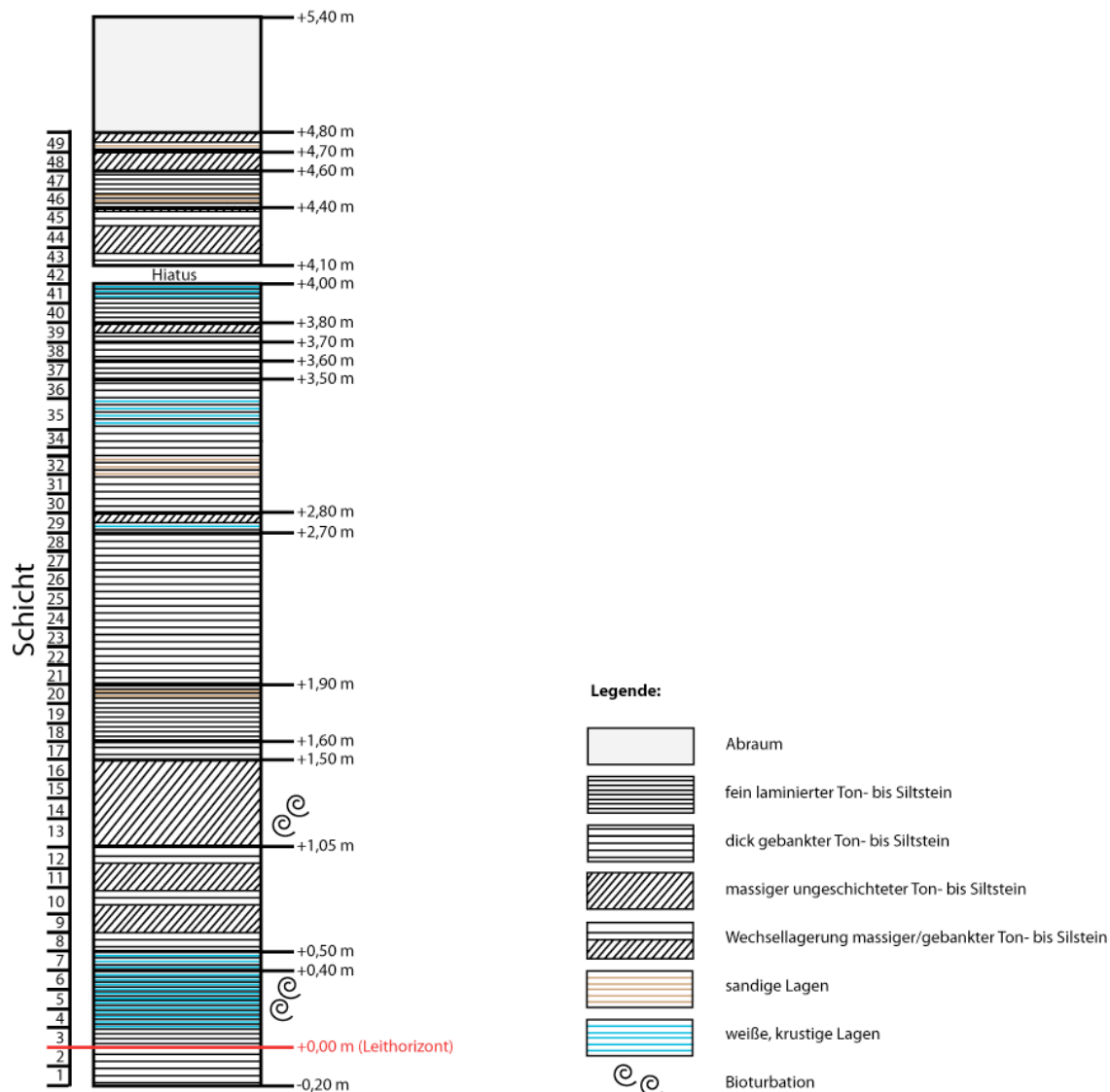


Diagramm 1: Schichtabfolge in der Tongrube Unterfeld.

3.2. Zeitliche Einordnung

Auf der Grundlage des Erstauftretens von Kiemenreusendornen des Riesenhais *Keasius* sp. (Cetorhinidae) in Schicht 7 (Diagr. 2) ist nach GRIMM et al. (2002) davon auszugehen, dass zwischen den Schichten 6 und 7 die Grenze zwischen dem FS A und FS B liegt (GRIMM 1991; vgl. Kap. 1.1.3.4.). Die Schichten 1 bis 6 des FS A zeichnen sich durch fein laminierte bis geschichtete Ton- und Siltsteinlagen aus, während die Ablagerungen des FS B in den Schichten 7 bis 49 aus Wechsellagerungen von geschichteten und ungeschichteten Ton- und Siltsteinen bestehen (vgl. Diagr. 1). Die Häufigkeitsverteilung der Kiemenreusendornen im Profil zeigt keine Abhängigkeit zur Lithologie. Eine erhöhte Abundanz tritt sowohl in geschichteten als auch in ungeschichteten Lagen auf (Diagr. 2).

Eine weitere Unterteilung in FS 1 bis 3 (FS A) und FS 4 bis 6 (FS B) nach GRIMM (1991) ist

aufgrund fehlender mikropaläontologischer Befunde in dem aufgenommenen Profil nicht möglich (vgl. Kap. 1.2.2.).

Nach GRIMM (1994) entspricht die Grenze zwischen FS A und FS B der Grenze zwischen FS 3 und FS 4 (vgl. Abb. 7). Die Ablagerungszeit von FS 3 und FS 4 im ORG war durch einen verstärkten Einfluss des ehemaligen Nordmeeres geprägt (GRIMM 1994). Zu Beginn des FS 4 (FS B) kam es zu einem Meeresspiegelanstieg um etwa 25 bis 35 m (GRIMM et al. 1999). Der Meeresspiegelanstieg und die Verstärkung des nordischen Fauneneinflusses spiegeln sich in dem Erstauftreten der Kiemenreusendorne des Riesenhais *Keasius* sp. (Cetorhinidae) in Schicht 7 wider. Da dieses Erstauftreten im Fischschiefer auch in der Küstenfazies im nördlich gelegenen Mainzer Becken wiederzufinden ist (GRIMM et al. 2000), ist eine nordische Herkunft für diese Haiart im Rupelmeer höchstwahrscheinlich.

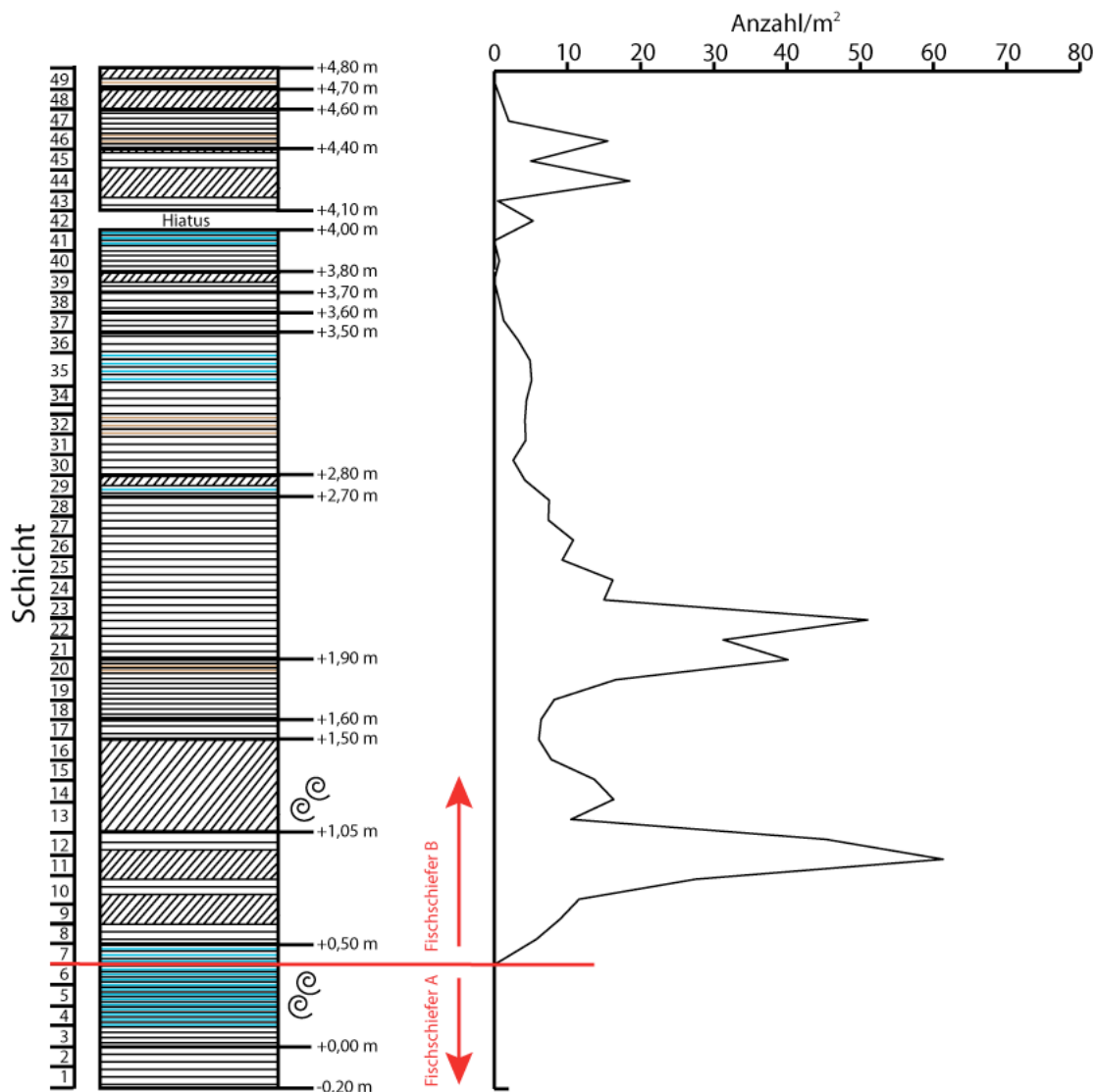


Diagramm 2: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Kiemenreusendornen des Riesenhais *Keasius* sp. (Cetorhinidae) in dem aufgenommenen Profil in der Tongrube Unterfeld.

3.3. Horizontale Orientierung der Funde

Wie bereits in Kap. 2.2.1.1. dargestellt, war in den Schichten 18 bis 26 und 35 bis 41 eine Orientierungsmessung der Funde wegen der tektonischen Verformung der Schichten stark eingeschränkt. Darüberhinaus lieferten einige Schichten (1 bis 12, 27) nur wenige oder gar keine Fossilien, die sich zu einer Orientierungsmessung eigneten. Dies resultiert in niedrigen N -Werten (< 10). Die Ergebnisse über die horizontale Orientierung der Funde sind in diesen Schichten statistisch nicht verlässlich abgesichert (Abb. 31 a, b, c, e, 32 b, Diagr. 3).

Der Großteil der eingemessenen Fossilien stammt aus fein laminierten respektive gut geschichteten Ton- und Siltsteinlagen. In den ungeschichteten, massigen Schichten wurden kaum Fossilien aufgefunden, die zu einer Orientierungsmessung geeignet waren (Diagr. 3).

In den Schichten 13 bis 17, 28 bis 32 und 43 bis 49 wurden Fossilien häufig angetroffen ($N > 10$). Ein Großteil ist ungerichtet eingebettet (Abb. 31 d, 32 a, c, d, e). In den Schichten 23 bis 25 ist ein leichter NS-Trend erkennbar, welcher jedoch nur durch wenige der eingemessenen Fossilien dargestellt wird. Überdies handelt es sich um tektonisch verformte Schichten (Abb. 32 a, Diagr. 3).

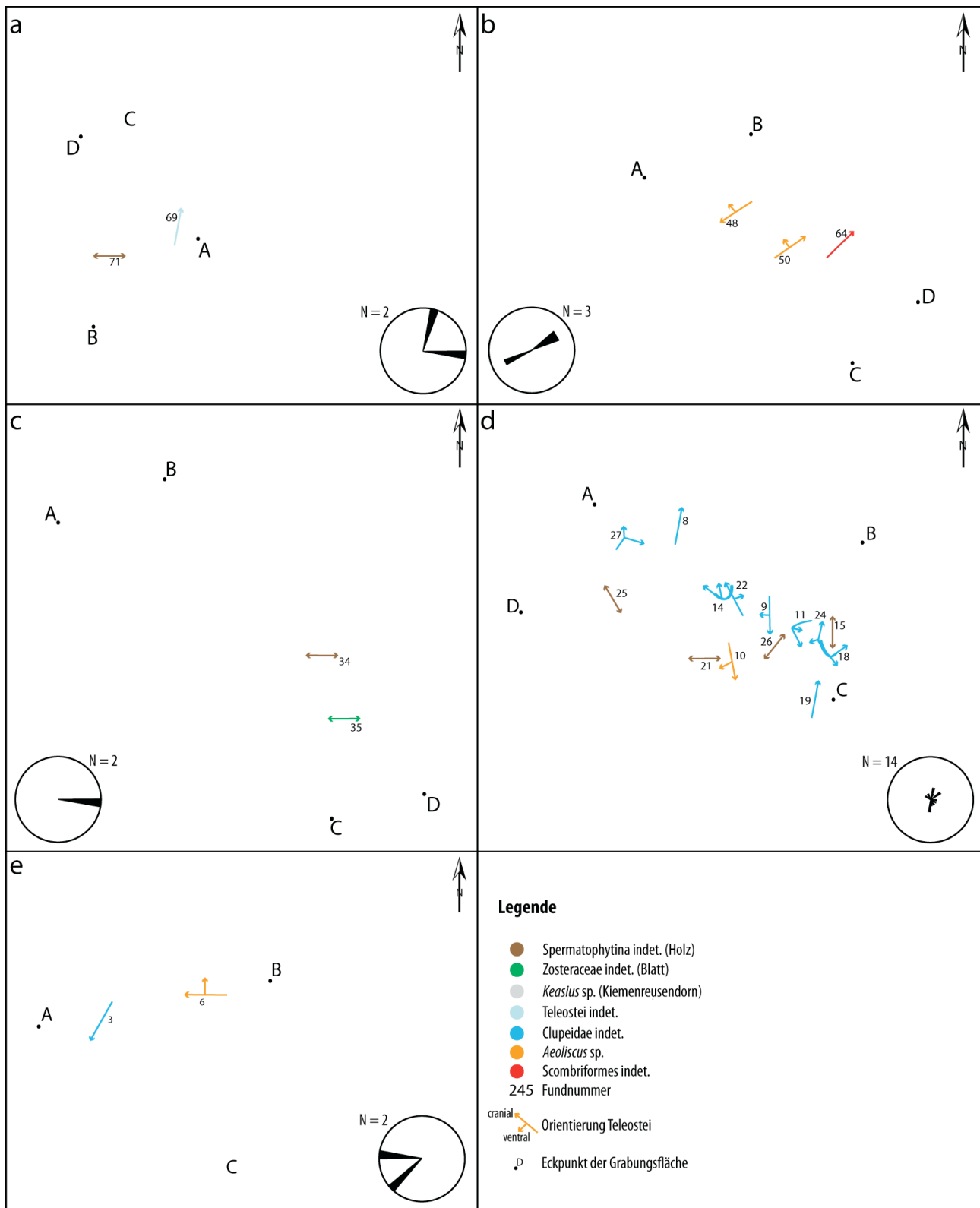


Abbildung 31: Orientierung der im Rahmen der Profilaufnahme aufgefundenen Fossilien: a. Grabungsfläche VII b (Schichten 1 - 3), b. Grabungsfläche VI b (Schichten 7 - 9), c. Grabungsfläche VI a (Schichten 10 - 12), d. Grabungsfläche V b (Schichten 13 - 21), e. Grabungsfläche V a (Schicht 22).

3. SEDIMENTOLOGIE & STRATIGRAPHIE

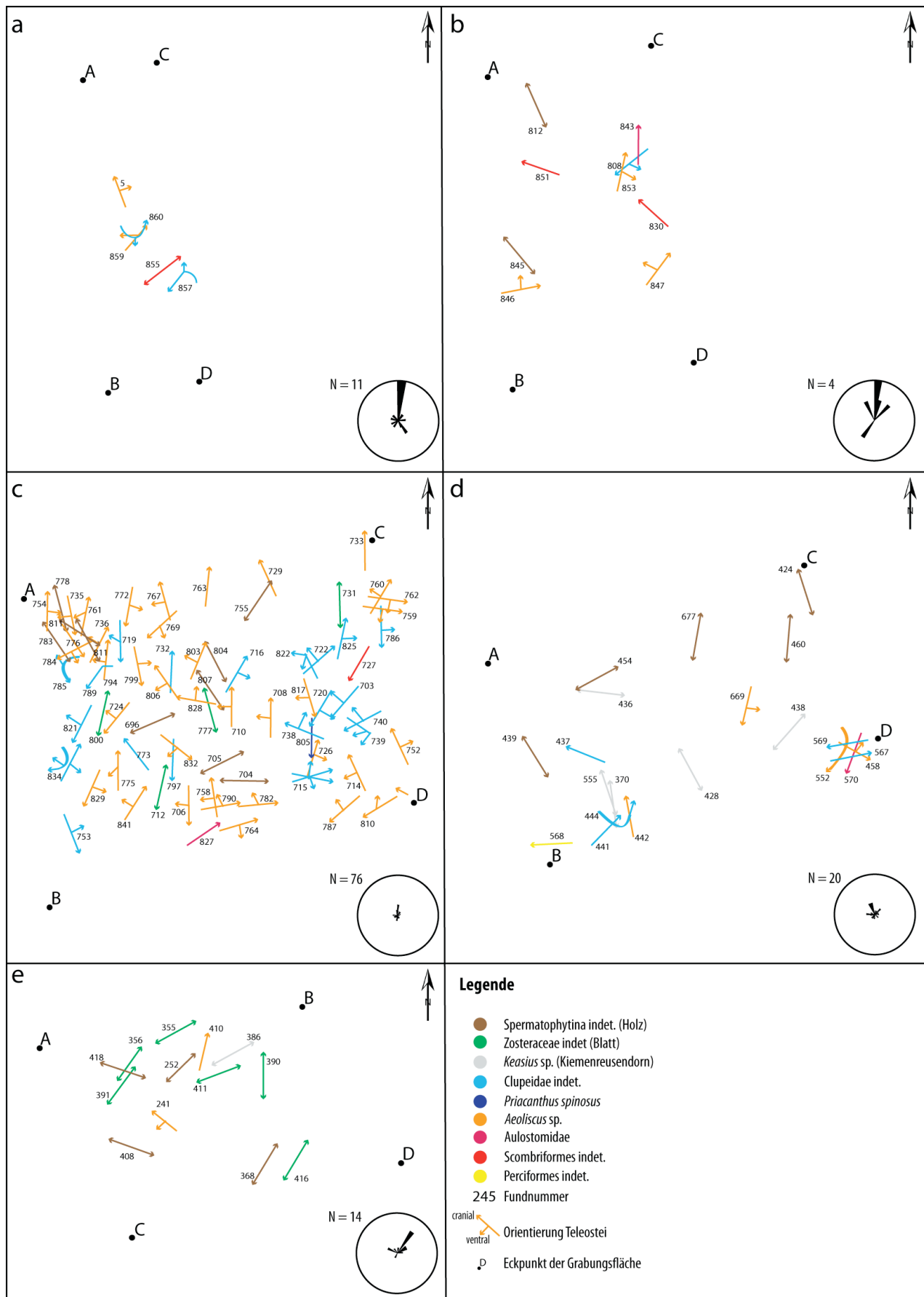


Abbildung 32: Orientierung der im Rahmen der Profilaufnahme aufgefundenen Fossilien: a. Grabungsfläche IV c (Schichten 23 - 25), b. Grabungsfläche IV b (Schichten 26 - 27), c. Grabungsfläche IV a (Schichten 28 - 32), d. Grabungsfläche III (Schichten 33 - 41), e. Grabungsfläche II (Schichten 43 - 49).

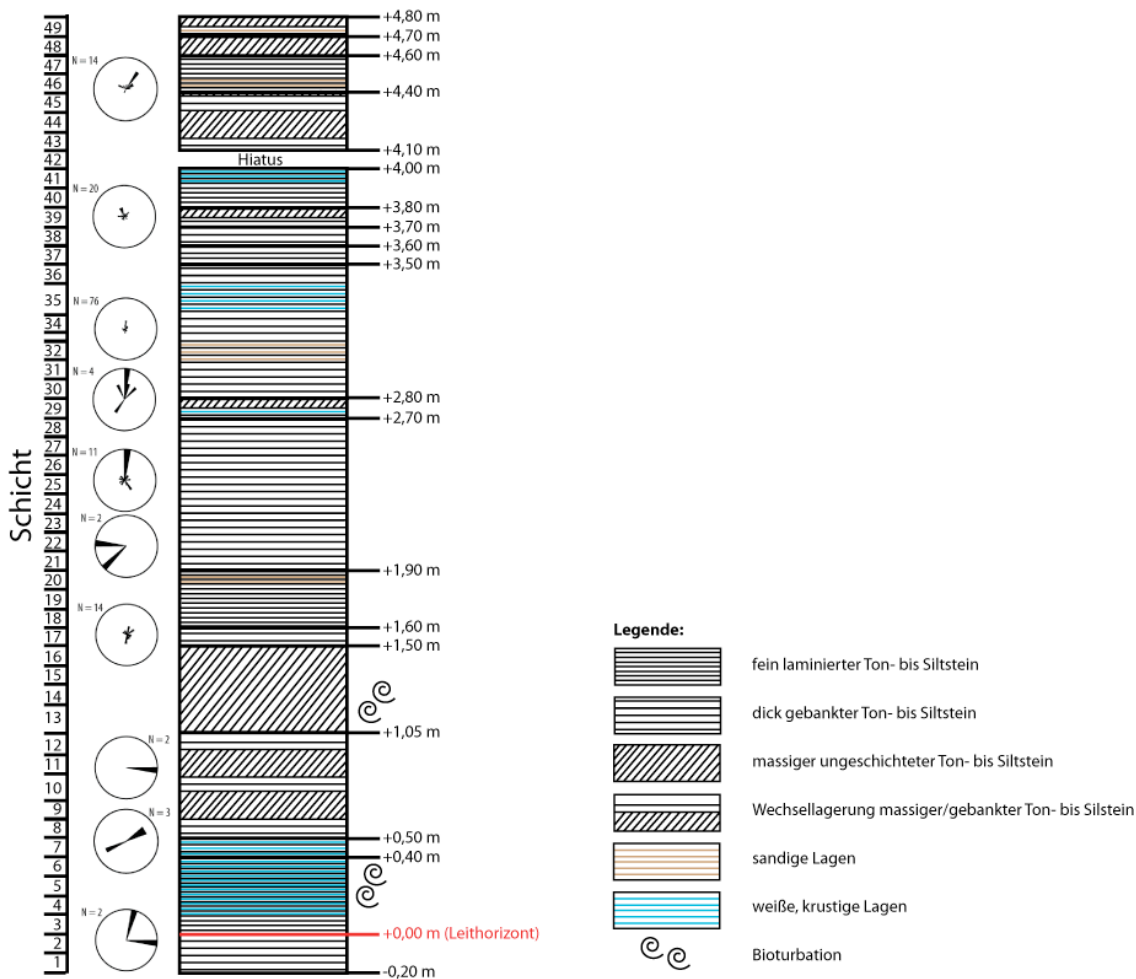


Diagramm 3: Schichtabfolge der Tongrube Unterfeld mit den Ergebnissen der Orientierungsmessung der aufgefundenen Fossilien, dargestellt in Richtungsrosen (eine Rose steht für eine Grabungsfläche, vgl. Abb. 17).

3.4. Vertikale Häufigkeitsverteilung der Foraminiferen

Foraminiferen sind sowohl massenhaft ($\geq 10/10 \text{ mm}^2$) aus den Schichten 8, 9, 11, 36, 45, 48 und 49 als auch vereinzelt ($< 10/10 \text{ mm}^2$) aus den Schichten 1, 5, 13 bis 15, 21 bis 27, 33 - 34 bekannt (Diagr. 4). Es handelt sich um die Gattungen *Stilostomella*, *Cyclammina* und *Bolivina*.

Ein massenhaftes Vorkommen von Foraminiferen wurde meist in nicht-laminierten Lagen (Schichten 9, 11, 36, 48, 49) nachgewiesen, lediglich aus den laminierten Schichten 8 und 45 sind auch massenhaft Foraminiferen belegt. Dagegen ist das vereinzelte Auftreten meist auf fein laminierte Lagen (Schichten 1, 5, 21 bis 27, 33 - 34) beschränkt. In den massigen Lagen der Schichten 13 bis 15 wurde auch ein vereinzelter Vorkommen registriert.

3. SEDIMENTOLOGIE & STRATIGRAPHIE

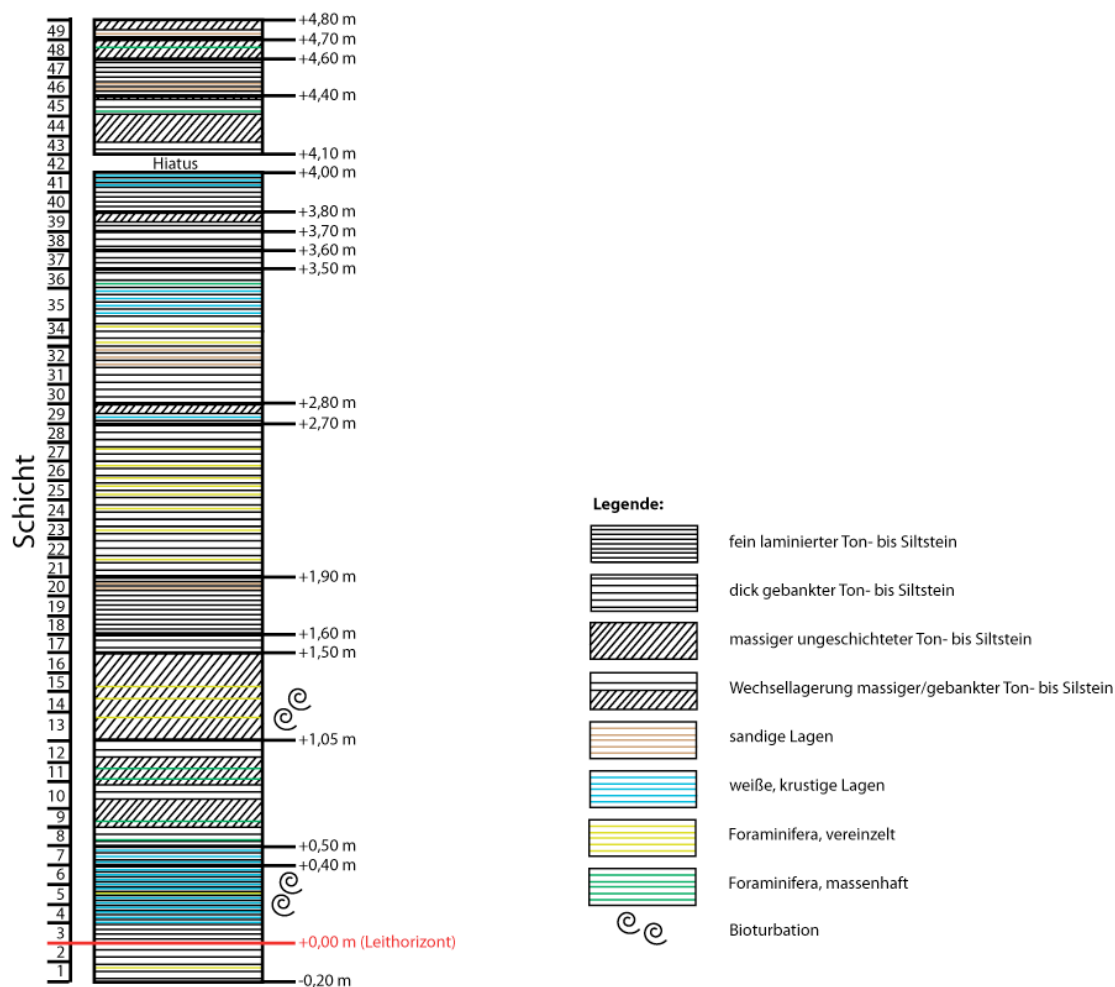


Diagramm 4: Schichtabfolge der Tongrube Unterfeld mit der vertikalen Häufigkeitsverteilung von Foraminiferen.

3.5. Sedimentologische Interpretationen

Die fein laminierten und gut geschichteten Ablagerungen aus Ton und Silt können durch eine gleichmäßige Sedimentation in einem anoxischen Stillwasserbereich während einer Transgression erklärt werden (POTTER et al. 1980, GRIMM et al. 2002, BERGER et al. 2005b). Diese Interpretation geht einher mit dem oben dargestellten Ergebnis fehlender horizontaler Orientierung der eingemessenen Fossilien (vgl. Kap. 3.3.) und den bisherigen Interpretationen des Ablagerungsbereiches als lebensfeindliche Umgebung (z. B. GRIMM et al. 2002, BÖCKER & LITKE 2014). Fehlende Wasserzirkulation und Durchlüftung führten zur Anreicherung von organischen Bestandteilen und der Ablagerung von Faulschlamm (POTTER et al. 1980, BÖCKER & LITKE 2014). Dies erklärt auch die dunkle Färbung des Gesteins, welche durch die Anreicherung von Kohlenstoff und Eisensulfiden (Pyrit) in einem anoxischen Bereich entstand (POTTER et al. 1980). Die Gipsausblühungen in den Schichten des aufgenommenen Profils wurden von GRIMM et al. (2002) auf Pyritframboide („Bakterienpyrit“, GRIMM et al. 2002, S. 234) zurückgeführt, die unter

anaeroben Bedingungen gebildet und frühdiagenetisch in Gips umgewandelt wurden (BRETT et al. 1991). Die fein laminierten Schichten und die Abwesenheit von Paläoströmungsindikatoren sprechen für eine Ablagerung unterhalb der Sturmwellenbasis (SWB, LITKE et al. 1991).

Die weißen, krustigen Lagen kommen ausnahmslos in den laminierten Schichten im Profil vor und wurden in der Vergangenheit als „Karbonathaut“ (TRUNKÓ & MUNK 1998, S. 24) bezeichnet. GRIMM et al. (2002) führten diese Ablagerungen auf eine Bildung durch Kalknannoplankton (Coccolithosphären) zurück. Wahrscheinlich ist die Entstehung dieser „Karbonathaut“ auf eine überdurchschnittliche Vermehrung der Coccolithophoriden in den oberen Wasserschichten zurückzuführen (GRIMM et al. 2002). Nach dem Absterben sanken diese auf den Meeresgrund ab und bildeten kalkige Lagen im Faulschlamm. Solche Algenblüten werden rezent durch den Einfluss von Flussmündungen und in Upwelling-Bereichen beobachtet (SELLNER et al. 2003). Für die Rekonstruktion von Flussmündungen im näheren Umfeld des Ablagerungsbereiches fehlen die nötigen lithologischen Belege, wie z. B. grobklastische Sedimente oder typische Sequenzen im Unterfeld-Profil (FÜCHTBAUER 1988; vgl. Diagr. 1). Ein Auftrieb (Upwelling) von nährstoffreichen Tiefenwässern aus den tieferen Wasserschichten des ORG in den Ablagerungsbereich ist ebenfalls auszuschließen, da sich dieser in einem nur etwa 40 km breiten Meeresarm nicht bilden kann (GRIMM et al. 2002; vgl. Abb. 11). Daher führten GRIMM et al. (2002) die periodischen Algenblüten auf eine Anreicherung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen in den Porenwässern im sauerstoffarmen Sediment zurück. Diese sind in höhere Wasserschichten aufgestiegen und sorgten dort für eine überdurchschnittliche Vermehrung des Planktons (ROZAN et al. 2002).

Die Wühlgänge in den fein laminierten Schichten 4 bis 6 sind wenige Millimeter dünn und fein verzweigt und heben sich von dem umgebenen Gestein durch eine hellere Farbe ab (vgl. Diagr. 1). Sie sind wahrscheinlich auf die Aktivität von Polychaeten zurückzuführen (BROMLEY 1996, GRIMM et al. 2002). Möglicherweise handelt es sich hier um Polychaeten-Arten, die im dysaeroben bis anaeroben Milieu lebten (BROMLEY 1996), da eine laterale Einwanderung der Bioturbation auszuschließen ist. Diese würde sonst in weiteren Schichten auftreten.

Die eingeschalteten sandigen Lagen, die in den fein laminierten respektive gut geschichteten Schichten 20, 32, 46 und 49 vorkommen, wurden in der Literatur bisher nicht diskutiert. Sie deuten auf eine Veränderung des terrestrischen Einflusses auf den Ablagerungsbereiches hin. Während feinklastischer Ton und Silt die typische Ablagerung in subtropischen bis tropischen Regionen darstellt, sind Sande eher aus semiariden Gebieten bekannt (FÜCHTBAUER 1988). Die sandigen Lagen könnten daher auf geringe Veränderungen im Hinterland hindeuten. Kleinräumige klimatische Schwankungen und damit einhergehende Veränderungen der erosiven Prozesse im Liefergebiet könnten zur Ablagerung von sandigen Anteilen im Profil geführt haben.

3. SEDIMENTOLOGIE & STRATIGRAPHIE

Die gleichmäßige, geschichtete Ablagerung von Faulschlamm mit kalkigen und sandigen Lagen wird in der Profilabfolge immer wieder durch massige ungeschichtete Lagen unterbrochen, die weder sandig noch kalkig sind (vgl. Diagr. 1). Es handelt sich um rein tonige bis siltige Ablagerungen, die einheitlich dunkelgrau bis schwarz sind. Die Zerstörung einer ursprünglichen Lamination respektive Schichtung von tonigen Ablagerungen kann durch Bioturbation oder andere physikalische Prozesse, wie z. B. durch Umlagerung, erfolgen (ARTHUR & SAGEMANN 1994). Bioturbation tritt aber in der Abfolge nur in wenigen der ungeschichteten Ton- und Siltsteinlagen auf (vgl. Diagr. 1). Eine postsedimentäre Zerstörung der Bioturbation ist möglich, allerdings fehlt dem Sediment die hierfür typische fleckige Färbung (POTTER et al. 1980). Es ist davon auszugehen, dass für die Umlagerung der laminierten Lagen physikalische Prozesse verantwortlich waren. Sturmereignisse könnten für ein Aufwirbeln der oberen Sedimentschichten gesorgt haben. Belege für Tempestite in der Form von ausgeprägten Sturmsandlagen fehlen zwar in der Abfolge, aber das liegt auch daran, dass die nötigen Liefergebiete für grobklastische Sedimente im Küstenbereich nicht zur Verfügung standen (POTTER et al. 1980; vgl. Kap. 1.1.3.6.). Die davor gleichmäßig abgelagerte Lamination wurde aufgewirbelt und zerstört, wenn die SWB den Ablagerungsbereich erreicht hat. Sobald wieder stagnale Bedingungen eintraten, wurden ungeschichtete Faulschlammlagen von 50 bis 150 mm Mächtigkeit abgelagert (POTTER et al. 1980; vgl. Diagr. 1). Die scharfen Grenzen zwischen den gut geschichteten und ungeschichteten Ton- und Siltsteinlagen sprechen auch für plötzliche eintretende Ereignisse (POTTER et al. 1980). Durch diese Durchmischung der Wassersäule wurde kurzzeitig Sauerstoff in den Ablagerungsbereich eingebracht und so ein Besiedelungsfenster für endobenthische Organismen geschaffen. Dies würde das Vorkommen von Bioturbation (vgl. Kap. 3.1., Diagr. 1) und den Anstieg der Abundanz von Foraminiferen in den meisten der ungeschichteten Lagen erklären (vgl. Kap. 3.4., Diagr. 4). Sauerstoffanreicherungen nach Sturmereignissen in Sapropeliten sind z. B. auch aus dem Posidonienschiefer (Unterer Jura/Baden Württemberg), welcher in einer Wassertiefe von bis zu 200 m abgelagert wurde, bekannt (SAVRDA & BÖTTJER 1989). Im Posidonienschiefer hatte die Durchmischung der Wassersäule und die damit einhergehende kurzzeitige Erhöhung des Sauerstoffgehaltes im Ablagerungsbereich auch das kurzzeitige Auftreten von bioturbierenden Aktivitäten zur Folge (SAVRDA & BÖTTJER 1989).

Es ist daher anzunehmen, dass der Ablagerungsbereich der hier analysierten Abfolge Schwankungen ausgesetzt war, die einen Einfluss auf die relative Lage zwischen dem Ablagerungsbereich und der SWB hatten. Die Tiefe der SWB ist abhängig vom Seegang, welcher wiederum von der Streichlänge des Windes, der Windgeschwindigkeit und der Wassertiefe abhängig ist (SAVRDA & BÖTTJER 1989). Die Streichlänge umfasst die Distanz vom Ufer zu einem

bestimmten Punkt auf der Meeresoberfläche. Die küstennahe Lage des Ablagerungsbereiches lässt daher auf eine niedrige Wirkungstiefe des Seegangs schließen. Die Windgeschwindigkeit ist sedimentologisch nicht rekonstruierbar. Bezüglich der Wassertiefe wurden bisher zwei Hypothesen diskutiert: die „*Tiefwasser-Hypothese*“ nach GRIMM (1991) und die „*Flachwasser-Hypothese*“ nach MICKLICH (1998).

„*Tiefwasser-Hypothese*“ nach GRIMM (1991)

Einige Foraminiferen-Arten aus dem Fischeschiefer sprechen nach GRIMM (1991) für einen Ablagerungsraum auf dem äußeren Schelf. Die Gattungen *Bolivina*, *Bathysiphon*, *Cibicides*, *Gyroidina*, *Fissurina*, *Lagena*, *Nodosaria* und *Pullenia* treten vom inneren Schelf bis zur abyssalen Zone (bis 6000 m Wassertiefe) auf. *Nonion* und *Cancris* reichen vom inneren Schelf bis in die bathyale Zone (bis 4000 m Wassertiefe), während *Planorbulina* nur im inneren und äußeren Schelf auftritt (bis 200 m Wassertiefe). *Bathysiphon* ist auf dem äußeren Schelf in Wassertiefen von bis zu 200 m zu finden (GRIMM 1991). Die Wassertiefe für den Ablagerungsbereich der Tongrube Unterfeld wird aufgrund der bevorzugten Lebensbereiche dieser Foraminiferen mit etwa 200 m angegeben (GRIMM 1991, GRIMM et al. 2002, BÖCKER & LITKE 2014). GRIMM et al. (2002) schlussfolgerten, dass der Fischeschiefer der Tongrube Unterfeld in einem Randbecken des ORG abgelagert wurde.

„*Flachwasser-Hypothese*“ nach MICKLICH (1998)

Die Fischvergesellschaftung des Fischeschiefers spricht nach WEILER (1966), MICKLICH (1998, 2005) und MICKLICH et al. (2009) für einen vollmarinen, niedrigerenergetischen Flachwasserbereich in einer Bucht. Das Fehlen von typischen Tiefwasserformen (Lebensraum in über 500 m Wassertiefe) unter den Knochenfischen (Teleostei), wie Borstenmäuler (Gonostomatidae), Leuchtfische (Phosichthyidae) oder Laternenfische (Myctophidae), und das Vorkommen zahlreicher Jungfische führte zu der Annahme, dass der Fischeschiefer in dieser Bucht in einer Wassertiefe von weniger als 50 m abgelagert wurde (MICKLICH 1998, 2005, MICKLICH & HILDEBRANDT 2010). MICKLICH et al. (2009) räumten aber ein, dass die „*Flachwasser-Hypothese*“ unterstützenden Seegraswiesen, Tange und typische Küstentiere, wie Krebstiere (Crustaceae), Muscheln (Bivalvia) und Stachelhäuter (Echinodermata), im Fischeschiefer aber entweder sehr selten sind oder bisher nicht nachgewiesen wurden (MICKLICH et al. 2009). Gelegentliche Algenblüte, die durch Upwelling ausgelöst wurden, töteten viele Fische im Ablagerungsbereich der Tongrube Unterfeld (MICKLICH & HILDEBRANDT 2010). Das periodische Wiedereinströmen von Frischwasser rehabilitierte das Ökosystem wieder (MICKLICH 1998). Eine Verbindung zum offenen Meer wird vorausgesetzt, da die rezenten Verwandten von 45 % der Teleostei-Taxa im Fischeschiefer pelagisch leben (WEILER

3. SEDIMENTOLOGIE & STRATIGRAPHIE

1966, MICKLICH 1998, 2005, MICKLICH et al. 2009).

Die beiden Hypothesen sind aufgrund der hier erzielten Ergebnisse kritisch zu betrachten. In dem hier untersuchten Profil wurden nur die Foraminiferen-Gattungen *Bolivina*, *Cyclammina* und *Stilostomella* nachgewiesen (vgl. Kap. 3.4.). Eine Eingrenzung der Wassertiefe anhand der Lebensbereiche der Foraminiferen wird hier nicht durchgeführt, da diese für die drei Gattungen zu weitreichend sind. *Bolivina*, *Cyclammina* und *Stilostomella* treten vom inneren Schelf bis zur bathyalen Zone (200 bis 4000 m Wassertiefe) auf (MURRAY 2014). Der Transport benthischer Foraminiferen aus großen Tiefen durch aufwärtsströmendes Tiefenwasser in den Ablagerungsbereich („Upwelling“, MICKLICH & HILDEBRANDT 2010) wurde bereits ausgeschlossen. Bei den drei Gattungen handelt es sich um semiinfaunal sowie epibenthonisch lebende Foraminiferen, welche die typische Fauna eines Weichbodensubstrats mit niedrigen und wechselnden Sauerstoffverhältnissen darstellen (GRIMM et al. 2002). Letztere werden durch den Wechsel aus laminierten und ungeschichteten Lagen in der Abfolge abgebildet und durch die Häufigkeitsverteilung der Foraminiferen bestätigt.

Die Fossilvergesellschaftung neben den Foraminiferen wird in Kap. 4 und die vertikale Häufigkeitsverteilung der Fischfossilien in Kap. 5.4. diskutiert.

Anhand der hier erzielten sedimentologischen Ergebnisse ist an dieser Stelle zwar keine abschließende Aussage zur absoluten Wassertiefe möglich, jedoch deutet der Wechsel aus laminierten und ungeschichteten Lagen in der Abfolge auf Veränderungen der relativen Position zwischen der SWB und dem Ablagerungsbereich des Fischschiefers in der Tongrube Unterfeld hin. Sowohl eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit als auch ein Abnehmen der Wassertiefe durch Meeresspiegelschwankungen oder Gezeiten könnte zu einem Erreichen des Ablagerungsbereiches durch die SWB geführt haben. Dabei sind sowohl Meeresspiegelschwankungen durch regionale, tektonische Bewegungen als auch durch globale Veränderungen (eustatisch) möglich (vgl. Kap. 1.1.1.2. & 1.1.3.6.).

Insgesamt ist die Abfolge des hier analysierten Profils als ein mariner Ablagerungsbereich in Küstennähe anzusehen, dessen tiefere Wasserschichten meist unterhalb der SWB lagen. Während der Ablagerungszeit der laminierten Schichten fehlten Bodenströmungen und der Ablagerungsbereich war schlecht durchlüftet. Ein Rückgang der Wassertiefe und/oder Zunahme der Windgeschwindigkeiten sorgten immer wieder dafür, dass Sturmwellen das Sediment erreichten (LITKE et al. 1991). Das Durchmischen der Wassersäule führte kurzzeitig zu lebensfreundlichen Bedingungen, was durch die vertikale Häufigkeitsverteilung von Bioturbation und Foraminiferen belegt wird. Gelangte der Ablagerungsbereich wieder unterhalb der SWB, setzte sich die Ablagerung laminierten Ton- und Siltsteine fort.

4. Die Fossilienvergesellschaftung des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle "Wiesloch-Rot"

4.1. Pflanzen (Embryophyta)

4.1.1. Taxonomischer Überblick

Während der Durchführung der taxonomischen Analyse für die vorliegende Arbeit erfolgte durch KOVAR-EDER (2016) eine Revision des Pflanzenmaterials aus dem Fischeschiefer (vgl. Kap. 2.2.5.). Die in Kap. 1.2.6.1. dargestellte Florenliste, ist daher nicht mehr gültig. Tab. 1/Anhang gibt eine Übersicht über die hier verwendeten Taxa im Vergleich mit den Faunenlisten von WAGNER-KLETT (1919), WINTERSCHIED & GREGOR (2008), MAXWELL et al. (2016) und KOVAR-EDER (2016). Die Bestimmungen von KOVAR-EDER (2016) für die hier untersuchten Sammlungsexemplare wurden übernommen. Dennoch bleibt der Großteil der Sammlungsobjekte unbestimmt (Tab. 2/Anhang).

Im Zuge der hier durchgeführten Grabung wurden für den Fischeschiefer bisher unbekannte Seegrasgewächse (Zosteraceae indet.) entdeckt. Die Fragmente dieser linealischen Blätter mit einer Parallelnervatur, die in der Vergangenheit als „Schilf“ oder „Alge“ bezeichnet wurden, wurden von Amateuren nicht systematisch gesammelt und stießen auch bei Wissenschaftlern auf kein erhöhtes Interesse.

4.1.2. Häufigkeit und Diversität

3.564 taxonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf 58 nicht näher bestimmbare Exemplare (Embryophyta indet., 1,6 %), 412 Algen (Phycophyta, 11,6 %), 128 nicht näher bestimmbare Gefäßpflanzen (Tracheophyta indet., 3,6 %), vier Farne (Pteridophyta, 0,1 %), einen Palmfarn (Cycadopsida, 0,02 %), 125 nicht näher bestimmbare Samenpflanzen (Spermatophytina indet., 3,5 %), 119 Nadelgehölze (Coniferopsida, 3,3 %) und 2.717 Blütenpflanzen (Magnoliopsida, 76,2 %; Diagr. 5, Tab. 2/Anhang).

Algen (Phycophyta): 293 Exemplare sind nicht näher bestimmt (Phycophyta indet., 75,9 %). Die übrigen verteilen sich auf zwölf Braunalgen (Phaeophyta, 3,1 %) und 86 Rotalgen (Rhodophyta, 22,3 %).

Farne (Pteridophyta): Ein Exemplar ist ein nicht näher bestimmter Echter Farn (Polypodiopsida). Zwei Exemplare der Schizaeales verteilen sich auf ein nicht näher bestimmtes Exemplar (Schizaeales indet.) und ein Exemplar der Art *Lygodium kaulfussii* HEER emend. GARDNER &

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

ETTINGSHAUSEN (Diagr. 5, Tab. 2/Anhang).

Palmfarne (*Cycadopsida*): Ein Exemplar wurde *Ceratozamia floersheimensis* (ENGELHARDT) KVAČEK zugeordnet (Diagr. 5, Tab. 2/Anhang).

Nadelgehölze (*Coniferopsida*): 49 Exemplare der Nadelgehölze (*Coniferopsida* indet., 41,2 %) und zwei Koniferen (1,7 %) sind nicht näher bestimmt. 33 Exemplare stammen von Kieferngewächsen (*Pinaceae*, 27,7 %) und 39 von Zypressengewächsen (*Cupressaceae*, 32,8 %). Die beiden Familien sind nach MAXWELL et al. (2016) durch die folgenden Gattungen in absteigender Häufigkeit belegt: *Tetraclinis* (*Cupressaceae*), *Pinus* (*Pinaceae*) und *Taxodium* (*Cupressaceae*; Diagr. 5, Tab. 2/Anhang).

Blütenpflanzen (*Magnoliopsida*): 390 Exemplare sind nicht näher bestimmt (14,2 %). 2005 Exemplare stammen von Seegrasgewächsen (*Zosteraceae*, 73,8 %). Die häufigsten terrestrischen Blütenpflanzen (*Magnoliopsida*) sind mit 138 Exemplaren Lorbeergewächse (*Lauraceae*, 4,7 %), mit 94 Exemplaren Platanengewächse (*Platanaceae*, 3,2 %), mit 27 Exemplaren Palmengewächse (*Arecaceae*, 0,9 %), mit 31 Exemplaren Weidengewächse (*Salicaceae*, 1,1 %) und mit 20 Exemplaren Gagelstrauchgewächse (*Myricaceae*, 0,7 %). In absteigender Häufigkeit sind das die folgenden Gattungen und Arten (Diagr. 5, Tab. 2/Anhang):

Platanus neptuni (ETTINGSHAUSEN), BŮŽEK, HOLÝ & KVAČEK (*Platanaceae*)

Daphnogene cinnamomifolia (BRONGNIART) UNGER (*Lauraceae*)

Laurophyllum pseudoprinceps WEYLAND & KILPPER (*Lauraceae*)

Palmacites lamanonis BRONGNIART (*Arecaceae*)

Myrica obliquifolia KOVAR-EDER 2016 (*Myricaceae*)

Sabalites major (UNGER) SAPORTA (*Arecaceae*)

Myrica sp. (*Myricaceae*)

Engelhardia orsbergensis JÄHNCHEN, MAI & WALTHER (*Juglandaceae*)

Symplocos deichmülleri KVAČEK & WALTHER (*Symplocaceae*)

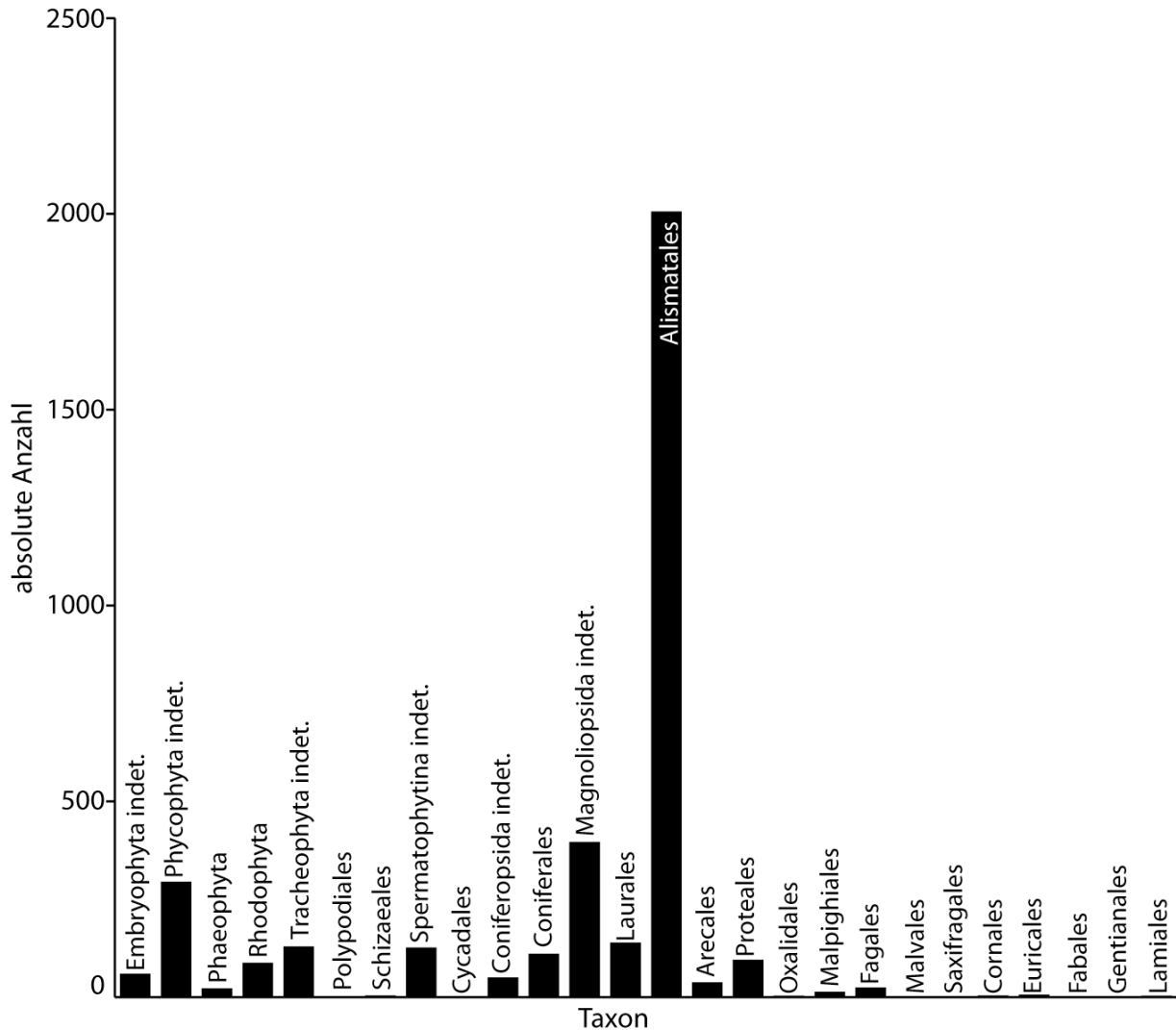


Diagramm 5: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Pflanzen (Embryophyta).

4.1.3. Erhaltene Elemente

Insgesamt sind von 10.400 taphonomisch untersuchten Exemplaren 42,7 % unbestimmbare Fragmente. Der Rest verteilt sich auf 19,3 % Blätter (Seegrasgewächse, Zosteraceae), 26,5 % Holzreste, 6,6 % Blätter (Landpflanzen) und 2,9 % Lager (Algen, Phycophyta). Selten sind Zweige, Blüten, Fruktifikationen sowie Zapfen von Blütenpflanzen (Magnoliopsida) und Nadelgehölzen (Coniferopsida) sind selten und kommen auf eine Häufigkeit von unter 1 % (Diagr. 6, Tab. 3/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

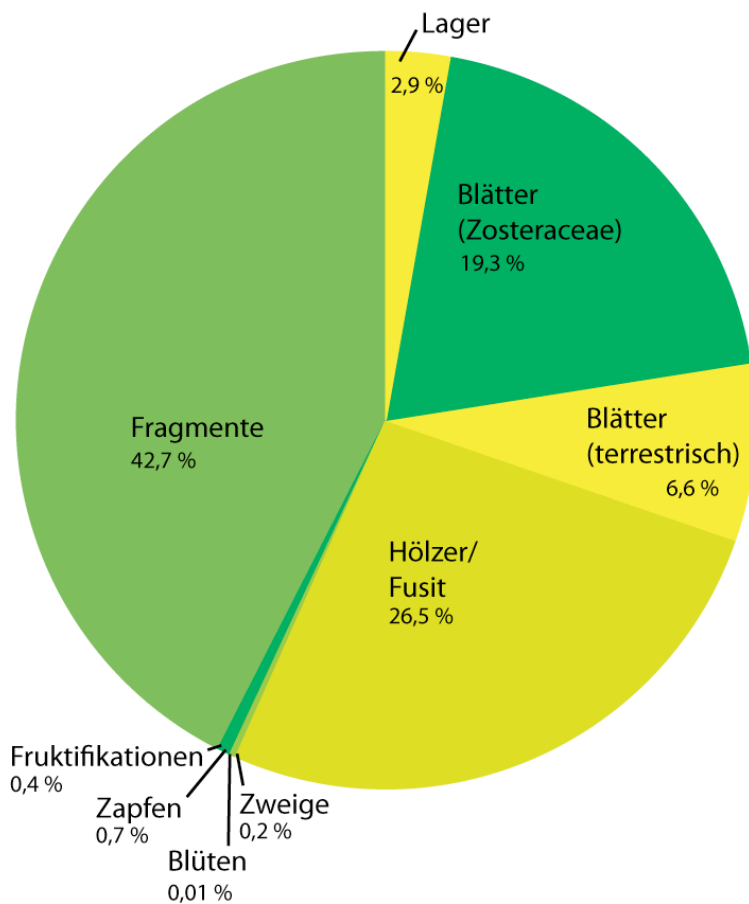
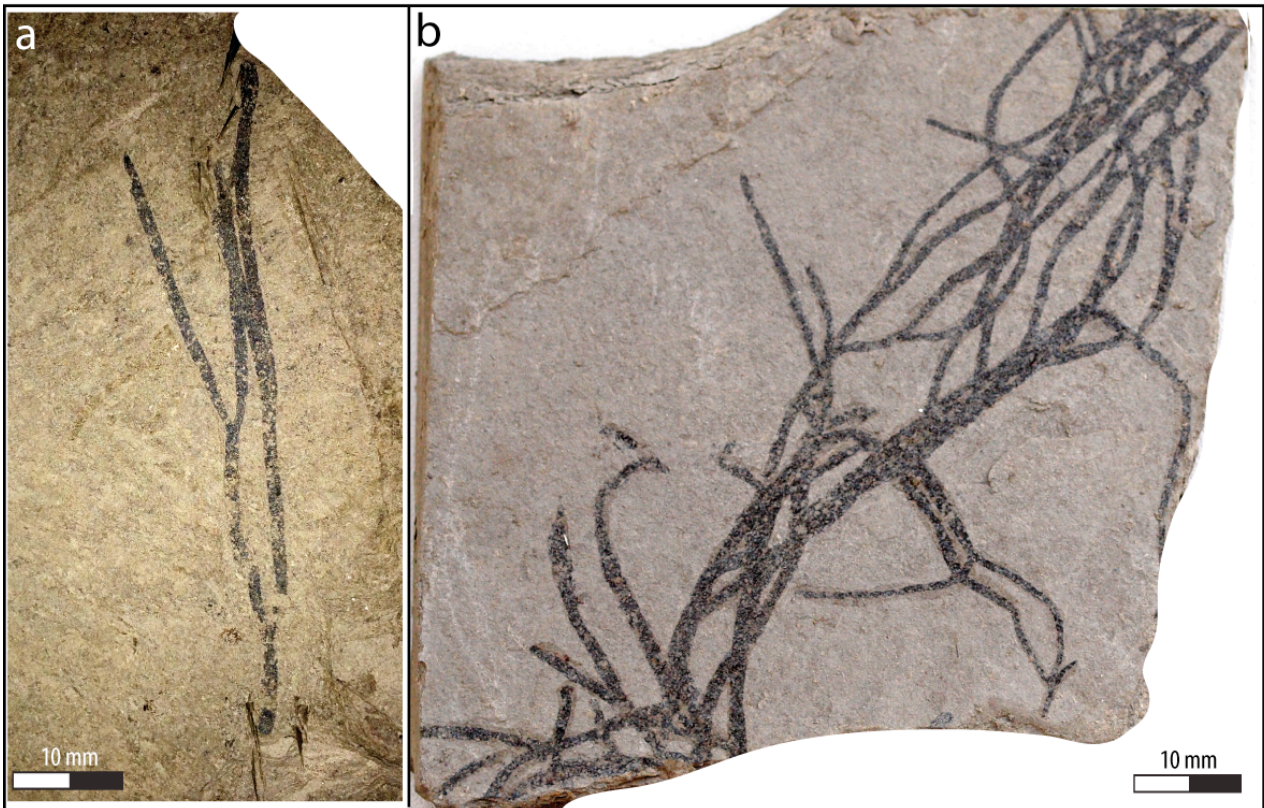


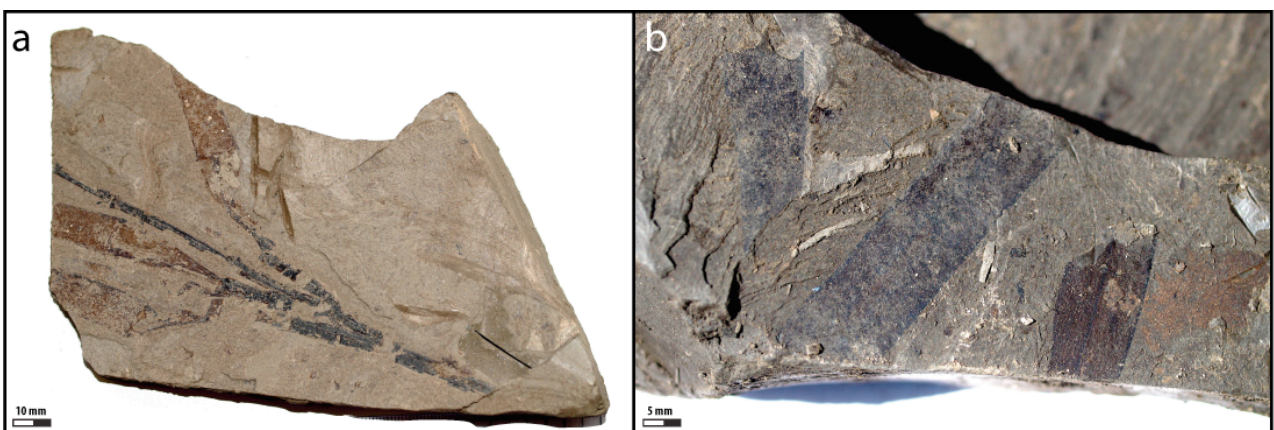
Diagramm 6: Relative Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente bei den Pflanzenfossilien.

Algen (Phycophyta): Algenreste (Phycophyta) sind im Fischeischiefer im Vergleich zu den Seegrasresten (Zosteraceae) selten und meist als Fragmente überliefert (vgl. Diagr. 5). Das fein verzweigte, trichale Fadensystem der Rotalgen (Rhodophyta) und Braunalgen (Phaeophyta) ist nur selten vollständig erhalten (Tafel 6).



Tafel 6: Erhaltung von Rotalgen (Rhodophyta), a: Fragment des Fadensystems (SMNS P1952-323), b. Fadensystem (SMNK-PAL 7647).

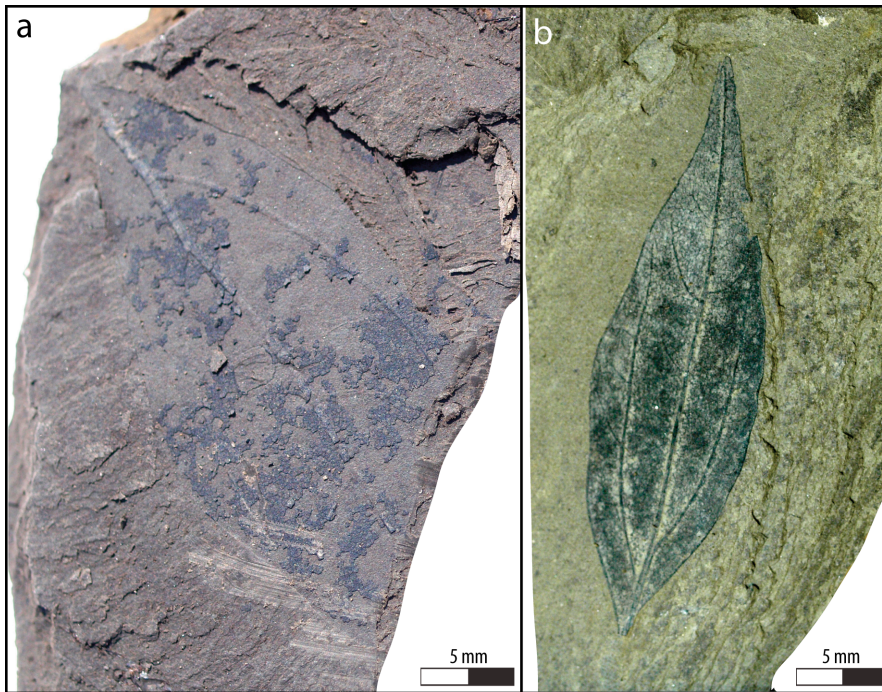
Seegrasgewächse (Zosteraceae): Seegrasgewächse (Zosteraceae) sind im Fischschiefer zwar überaus zahlreich (vgl. Diagr. 5), aber nur als Fragmente überliefert. Rhizomerhaltung ist nur bei einem Exemplar bekannt (Tafel 7 a) und noch nie wurden die für Seegras typischen abgerundeten Enden der Blätter gefunden (DEN HARTOG 1970; Tafel 7 b).



Tafel 7: Fossile Belege für Seegrasgewächse (Zosteraceae) im Fischschiefer: a. einziges bekanntes Fossil eines Seegrasgewächses aus dem Fischschiefer mit Wurzelstockerhaltung (SMNK-PAL 7659), b. häufigste Erhaltungsform: Fragmente von Seegrasblättern (Neufund ohne Fundnummer).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Landpflanzen: Insgesamt machen Nadel- und Laubblätter von Landpflanzen 6,5 % aller erhaltenen botanischen Elemente im Fischechiefer aus (vgl. Diagr. 6). Die Blätter sind zudem stets richtungslos im Sediment eingebettet und meist stark fragmentiert (Tafel 8, vgl. Kap. 3.3.). Andere Elemente, wie z. B. Früchte oder Zapfen, sind noch seltener (vgl. Diagr. 6).



Tafel 8: Erhaltung von Blättern des Zimtbaumes *Daphnogene cinnamomifolia* (BRONGNIART) UNGER: a. fragmentiert (UF 2015-779), b. vollständige Erhaltung (SMNS P 1952-71).

4.1.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen

Algen (Phycophyta) und Seegrasgewächse (Zosteraceae): Die Flora des Fischeiefers besteht zu 86,3 % aus marinen Gattungen, wobei davon wiederum 82,9 % von Seegrasgewächsen (Zosteraceae) stammen (vgl. Kap. 4.1.2.).

Benthische Algen, wie z. B. Rotalgen (Rhodophyta), brauchen als Substrat Hartgründe, an denen sie sich mit ihren Haftscheiben befestigen können (SCHWENKE 1969, LÜNING et al. 1990). Hartgründe entstehen durch die Zementation eines ursprünglich locker abgelagerten Sedimentes (BROMLEY 1996). Dafür sind mineralische Porenwässer (SiO_2 oder CaCO_3) notwendig, die in den Porenräumen des Lockersedimentes ausfallen (FÜCHTBAUER 1988). Solche sedimentologischen Indizien für Hartgründe fehlen im Profil der Tongrube Unterfeld vollständig (vgl. Diagr. 1, vgl. Kap. 3) und die vielen fragmentierten Funde von Algen (Phycophyta) sprechen für einen allochthonen Eintrag (vgl. Kap. 4.1.3.).

Die Wachstumszonen der Algen müssen aufgrund des fehlenden Hartsubstrates, der

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

lebensfeindlichen Umgebung im Ablagerungsbereich, der niedrigen Abundanz und der allochthonen Einbettung außerhalb des Untersuchungsbereiches gelegen haben.

Im Gegensatz zu den Algen (Phycophyta) haben Seegrasgewächse (Zosteraceae) höhere Lichtansprüche, wodurch die maximale Wassertiefe, in der sie wachsen können, begrenzt wird (DEN HARTOG 1970). Die rezente Seegras-Art *Zostera marina* LINNAEUS (Alismatales) wächst in maximalen Wassertiefen von 17 m. Manche Arten, wie z. B. das Zwergseegras *Zostera noltii* HORNEMANN, sind auch in Wassertiefen von bis zu 50 m zu finden und sind auch beständig gegen ein zeitweiliges Trockenfallen (LÜNING et al. 2002). Die Wurzeln der Seegrasgewächse (Zosteraceae) sind in Feinsedimenten verankert, wie z. B. in Sand oder Schlick (DEN HARTOG 1970). Seegrasgewächse (Zosteraceae) reagieren empfindlich auf starke Wasserströmungen und sind daher meist an wind- und wellengeschützten Küsten zu finden (DEN HARTOG 1970). Seegraswiesen sind in küstennahen Bereichen verbreitet und dienen dort unter anderem benthischen Foraminiferen und Moostierchen (Bryozoa) als Substrat (DEN HARTOG 1970, MOLENKAMP 2015).

Das Erkennen von fossilen Seegraswiesen ist über Makrofossilien sowohl direkt (z. B. LUMBERT et al. 1984) als auch indirekt über die Fossilien der Seegraswiesenbewohner und über das Sediment möglich (z. B. REICH et al. 2015, DARROCH et al. 2016).

Typische fossile Anzeiger für Seegraswiesen sind Vergesellschaftung aus benthischen Foraminiferen, krustigen Korallenalgen (Rhodophyta), Hydrozoen (*Dynamena*), spezifischen Korallentaxa, Moostierchen (Bryozoa), Weichtieren (Mollusca), Seeigeln (Echinidae), Muschelkrebse (Ostracoda), spezifischen Knochenfischen (z. B. Seenadelartige/Syngnathiformes), Meeresschildkröten (Cheloniidae) und Seekühen (Sirenia; REICH et al. 2015).

Benthische Foraminiferen bewohnen sowohl die Blätter der Seegrasgewächse (Zosteraceae) als auch die Rhizome, welche über dem Substrat hinausragen (LANGER 1993). Rezente Seegraswiesen sind assoziiert mit den epiphytischen und sessilen Foraminiferen-Familien Sortidae, Planorbulinoidae, Cymbaloporidae, Nubeculariidae und Acervulinidae (REICH et al. 2015). Aus dem Fischechiefer (FS 2; vgl. Abb. 7) ist lediglich die Art *Planorbulina difformis* MÜNSTER 1838 (Planorbulinoidae) bekannt (GRIMM 1991) und in der hier dokumentierten Sedimentabfolge des FS 3 und FS 4 wurde keine Arten aus den genannten Familien und auch kein Bewuchs auf den fossil erhaltenen Seegrasblättern identifiziert (vgl. Kap. 3.4.).

Typische Seegraswiesenbewohner innerhalb der Weichtiere (Mollusca) sind Flügel- (Strombidae), Träger- (Xenophoridae), Huf- (Hipponicidae) und Nadelschnecken (Cerithiidae; REICH et al. 2015). Kleine Nadelschneckenarten aus der Unterfamilie der Bittiniinae leben epiphytisch auf Seegrasblättern (REICH et al. 2015). Nuss- (Nuculidae), Trapez- (Carditidae), Herz- (Cardiidae), Venus- (Veneridae) sowie Tellmuscheln (Tellinidae) leben infaunal und Archen- (Arcidae), Mies-

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

(Mytilidae), Flügel- (Pteriidae), Kammuscheln (Pectinidae) sowie Austern (Ostreidae) epifaunal auf den Pflanzen in Seegraswiesen (REICH et al. 2015). Im Fischeschiefer sind Schnecken (Gastropoda) und Muscheln (Bivalvia) insgesamt sehr selten und wenig divers (vgl. Diagr. 8, Kap. 4.2.2.). Keine für Seegraswiesen typische Schneckenfamilie kommt im Fischeschiefer vor. Dagegen sind Herz- (Cardiidae), Tell- (Tellinidae), Flügel- (Pteriidae) und Kammuscheln (Pectinidae) sowie Austern (Ostreidae) für den Fischeschiefer belegt. Allerdings sind diese Taxa mit jeweils einem oder zwei Individuen sehr selten (vgl. Kap. 4.2.2.).

Rezente Seegraswiesen sind Lebensraum und Kinderstube für zahlreiche Fischarten (HEMMINGA & DUARTE 2000). Fossile Seegraswiesen sind durch ein hohes Aufkommen von Fischresten und Ohrsteinen (Otolithen) dieser Tiere gekennzeichnet (REICH et al. 2015). Otolithen wurden im Fischeschiefer der Paläogen-Scholle bisher nicht untersucht. Knochenfische (Teleostei) sind aber neben den Seegrasgewächsen (Zosteraceae) die häufigsten Fossilien, insbesondere Heringe (Clupeidae) und Schnepfenfische (Centriscidae; vgl. Kap. 4.5.2., Diagr. 17). Seegraswiesen dienen auch als Weidegründe für Meeresschildkröten (Cheloniidae) und Seekühe (Sirenia). Diese Taxa wurden im Fischeschiefer vereinzelt nachgewiesen (vgl. Kap. 4.6.2., Diagr. 30).

Fossilien von regulären Seeigeln (Echinoidea), wie z. B. *Diadema*, *Tripneustes*, *Lytechinus* und *Toxopneustes* gelten ebenfalls als Anzeiger für fossile Seegraswiesen (REICH et al. 2015). Aus dem Fischeschiefer sind aber bisher nur die irreguläre Gattung *Ova* sowie ein Exemplar eines Lanzenseegels (Cidaroida) bekannt (vgl. Kap. 4.2.1., Diagr. 8).

Krustige Korallenalgen (Rhodophyta), Hydrozoen (*Dynamena*), spezifische Korallentaxa sowie Moostierchen (Bryozoen) fehlen im Fischeschiefer vollständig (vgl. Diagr. 8, Kap. 4.2.2.).

Neben paläontologischen Indikatoren für fossile Seegraswiesen gibt es auch einige indirekte sedimentologische Hinweise (REICH et al. 2015). So wird durch den Transport von Nährstoffen in den Wurzeln der Seegrasgewächse CaCO_3 abgelagert, wodurch deren ursprüngliche Form als Abdrücke (*root casts*) fossil überliefert wird (CRAMER & HAWKINS 2009). Die Verkalkung der Wurzeln sorgt zusätzlich für eine Stabilisierung des Sediments (REICH et al. 2015). Seegraswiesensedimente enthalten in der Regel viel Silt, karbonatischen Schlamm und grobklastische Skelettkomponenten. Letztere stammen typischerweise von Kalkproduzenten, z. B. von Foraminiferen und Weichtieren (Mollusca; Fornos & Ahr 1997). Dagegen sind die Sedimente in der Umgebung von Seegraswiesen gut sortiert und zeigen Sedimentstrukturen (Fornos & Ahr 1997). Die Ablagerungen der hier analysierten Abfolge enthalten zwar einen hohen Silt- und Karbonatanteil, jedoch fehlen die für fossile Seegraswiesen typischen *root casts* und grobklastischen Skelettkomponenten (vgl. Kap. 3.1.). Die Sedimente der Tongrube Unterfeld zeigen auch nicht die beschriebenen Charakteristika einer typischen Seegraswiesenumgebung

(vgl. Kap. 3.1.).

Seegrasgewächse (Zosteraceae) sind zwar mit Abstand die häufigsten Fossilien im Fischeschiefer, aber die indirekten paläontologischen und sedimentologischen Hinweise für ein autochthones Vorkommen sind gering. Daher muss davon ausgegangen werden, dass auch die fossilen Seegrasfragmente eingeschwemmt wurden. Für diese allochthone Herkunft sprechen das lebensfeindliche Faulschlammmilieu im Fischeschiefer und die fragmentarische Erhaltung der einzelnen Seegrasblätter (vgl. Kap. 3.5., 4.1.3.). Folglich müssen im Bereich der heutigen Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ an der Ostküste des oligozänen Rupelmeeres Seegraswiesen existiert haben, wenn auch nicht im unmittelbaren Bereich der heutigen Tongrube Unterfeld.

Landpflanzen: Die Diversität der Landpflanzentaxa ist insgesamt sehr hoch (vgl. Diagr. 5). 79,28 % sind immergrüne Florenelemente, wie z. B. Koniferen (Coniferales), Lorbeerartige wie *Daphnogene cinnamomifolia* BRONGNIART (UNGER) (Laurales), Palmenartige wie *Palmacites lamanonis* BRONGNIART (Areciales) oder Silberbaumartige wie *Platanus neptuni* (ETTINGSHAUSEN) BŮŽEK, HOLÝ & KVAČEK (Proteales; Tab. 4/Anhang).

Diese Verteilung deutet auf einen stark allochthonen Eintrag vom Festland hin (KOVAR-EDER 2016). Zudem können Blätter von immergrünen Pflanzen, wie z. B. von Lorbeergewächsen (Lauraceae), bedingt durch ihre dicken Kutikeln, mehrere Wochen auf der Wasseroberfläche treiben, weil sie langsamer verwesen. Solche von laubabwerfenden Pflanzen haben hingegen Driftzeiten von nur wenigen Tagen (SPICER 1991). Durch dieses unterschiedliche Transportpotential wurde der botanische Fossilbericht aus dem Fischeschiefer wahrscheinlich signifikant verzerrt, da abgeworfenen Blätter den Ablagerungsraum nicht im gleichen Umfang erreichten. Zudem könnte zeitweilig auch ein äolischer Transport stattgefunden haben. Lange Transportwege über Flüsse ins Meer führten vermutlich zu mechanischer Zerstörung (KOVAR-EDER 2016). Allerdings fehlen in den Sedimenten der Tongrube Unterfeld Hinweise auf Deltaschüttungen. Wenn Flussmündungen vorhanden waren, dann nur weit entfernt vom Ablagerungsbereich (vgl. Kap. 3.5.). Der hohe Anteil von 57,6 % an unbestimmbaren Pflanzenfragmenten und Holzresten deutet ebenfalls auf lange Transportwege hin (SPICER 1991; vgl. Diagr. 6).

Am zweithäufigsten sind Palmwedel und Palmwedelreste von *Sabalites major* (UNGER) SAPORTA und *Palmacites lamanonis* BRONGNIART (Palmenartige, Areciales). Wedel dieser Pflanzen fallen nach dem Absterben in der Regel nicht sofort ab, sondern hängen unterhalb der Palmkrone noch lange vertrocknet herab (SCHEIHING & PFEFFERKORN 1984). Sie sind schwer und können von leichten Winden nicht weit transportiert werden (SPICER 1991). Daher stammen die meisten vollständig erhaltenen Palmwedel vermutlich von Pflanzen, welche nah am Ufer standen. Die Palmwedel könnten dann direkt ins Wasser gefallen sein. Über ein Verdriften an der

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Wasseroberfläche gelangten sie schließlich in den Ablagerungsbereich (SCHEIHING & PFEFFERKORN 1984, SPICER 1991). Ein Abreißen der Palmwedel und ein äolischer Transport über große Distanzen waren nur durch starke Winde möglich.

Rezente Fächerpalmen subtropischer bis tropischer Gebiete sind typisch für küsten- und flussnahe Bereiche (Tab. 4/Anhang). Einige Arten dieser Fächerpalmen sowie die Gattungen *Taxodium* und *Sequoia* (Coniferales) sind überdies brackwassertolerant (KVAČEK et al. 2000, DRANSFIELD et al. 2008, BUTZMANN et al. 2009). Womöglich war die östliche Uferzone des Rupelmeeres im Bereich der heutigen Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ durch ein sumpftartiges Gebiet geprägt (Tab. 4/Anhang, vgl. Abb. 12). Ähnlich wie in manchen Zypressensümpfen Nordamerikas waren die Pflanzen marinen Einflüssen ausgesetzt (LARSSON et al. 2010).

Das rezente Lorbeergewächs *Cinnamomum camphora* L. (Laurales) und das Plantanengewächs *Platanus kerrii* GAGNEP. (Proteales) wachsen bevorzugt in fluss- und küstennahen Mischwäldern subtropischer bis tropischer Gebiete (MAXWELL et al. 2016; Tab. 4/Anhang). Die fossilen Taxa des Fischeschiefers wuchsen vermutlich in den subtropischen Wäldern jenseits der Überflutungszone an der östlichen Rupelmeerküste im Bereich der heutigen Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ und waren mit dem Echten Farn *Lygodium* (Schizaeales), dem Palmfarn *Ceratozamia* (Cycadales), dem Kieferngewächs *Pinus* (Pinaceae), dem Lorbeergewächs *Actinodaphne* (Lauraceae), dem Weidengewächs *Populus* (Salicaceae), *Sloanea* (Elaeocarpaceae), den Walnussgewächsen *Engelhardia* und *Carya* (Juglandaceae), dem Hortensienengewächs *Hydrangea* (Hydrangaceae), Buchengewächsen (Fagaceae) sowie mit dem Zaubernussgewächs *Distylium* (Hamamelidaceae) assoziiert (KUNZMANN & WALTHER 2012, BUTZMANN et al. 2009; Tab. 3/Anhang, vgl. Abb. 12).

Blätter der Gagelstrauchgewächse *Myrica* sp. und *Myrica obliquifolia* KOVAR-EDER 2016 (Myricaceae) sowie das Walnussgewächs *Engelhardia orsbergensis* JÄHNCHEN, MAI & WALTHER (Juglandaceae) sind mehrzählig (vgl. Kap. 4.1.2.). Die rezenten Vergleichstaxa, die Gagelstrauchgewächse *Myrica* und *Comptonia peregrina* (L.) J.M. COULT. sowie das Walnussgewächs *Oreomunnea mexicana* (STANDL.) LEROY (Juglandaceae) wachsen heute in gemäßigten bis tropischen Bergregenwäldern in durchschnittlichen Höhenlagen von 700 bis 1000 m über dem Meeresspiegel (MAXWELL et al. 2016; Diagr. 7, Tab. 4/Anhang). Die heutigen östlichen Randgebirge des ORG, Odenwald und Schwarzwald bestanden auch zur Zeit des Rupeliums (vgl. Kap. 1.1.1.2.). Es ist möglich, dass diese Höhenzüge im Hinterland des Rupelmeeres bis zur Baumgrenze von Bergregenwäldern bewachsen waren.

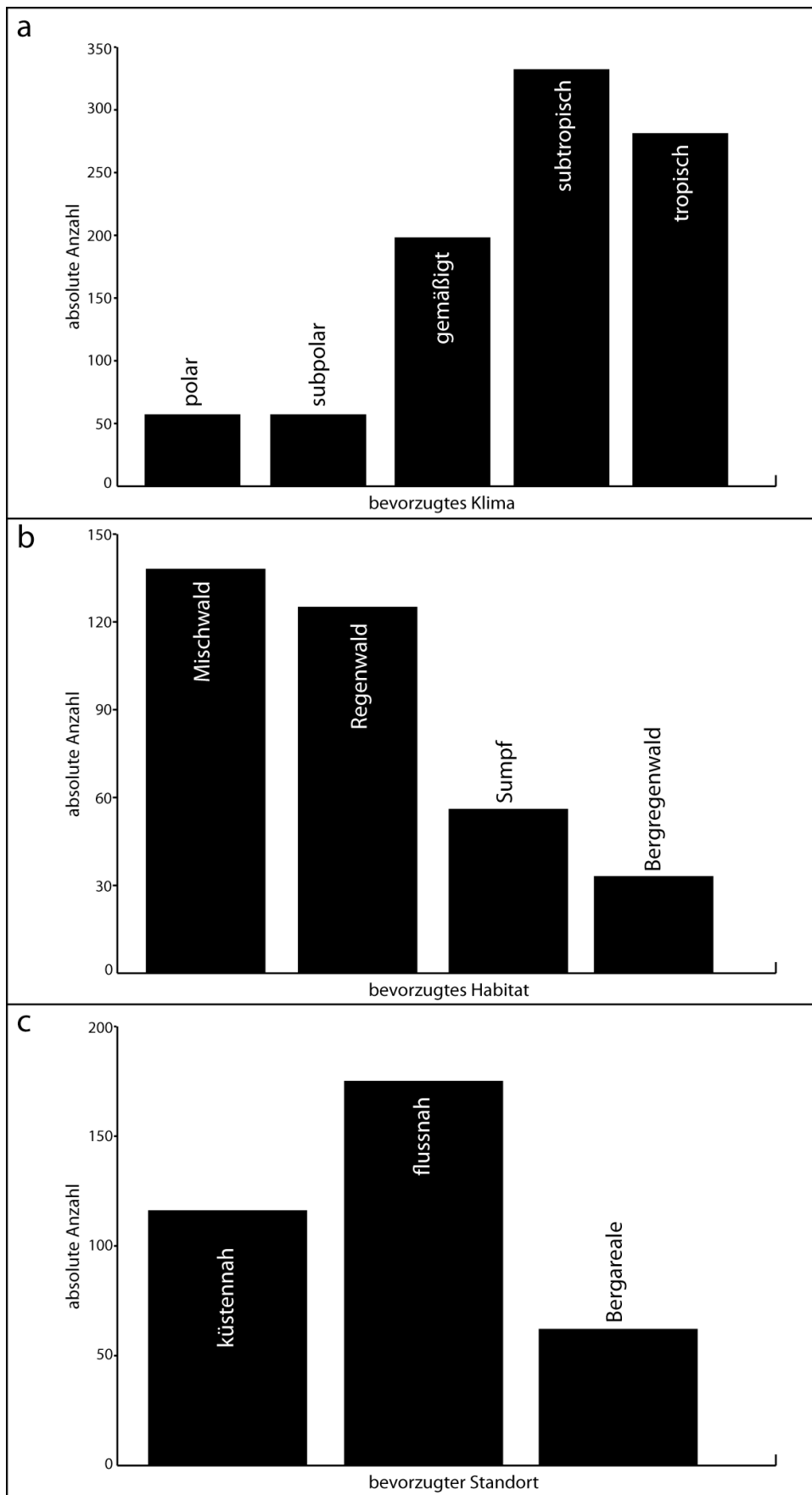


Diagramm 7: Bevorzugte Umweltbedingungen der Landpflanzen aus dem Fischschiefer. Vergleich mit den rezenten Vergleichstaxa wie in Tab. 4/Anhang gegeben: a. bevorzugtes Klima, b. bevorzugtes Habitat, c. bevorzugter Standort.

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

4.2. Marine Wirbellose (Makroinvertebrata)

4.2.1. Taxonomischer Überblick

Die marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) im Fischeschiefer umfassen Schnecken (Gastropoda), Muscheln (Bivalvia), Stachelhäuter (Echinodermata), Höhere Krebse (Malacostraca) und Kieferfüßler (Maxillopoda).

Eine Faunenliste mariner Wirbelloser (Makroinvertebrata) aus dem Fischeschiefer wurde erstmals von WAGNER-KLETT (1919) aufgestellt und von MAXWELL et al. (2016) aktualisiert (vgl. Kap. 1.2.6.2.). Neben einigen Ausnahmen wird die aktuelle Faunenliste von MAXWELL et al. (2016) in Bezug auf die Schnecken (Gastropoda) übernommen (Tab. 5/Anhang).

Keines der hier bearbeiteten Sammlungsexemplare konnte den aufgelisteten Taxa *Euspira* cf. *E. microphalus* SANDBERGER 1861 (Mondsnecken, Naticidae), *Granulabium plicatum* BRUGUIÈRE 1792 (Batillariidae) oder *Muricopsis* sp. (Stachelsnecken, Muricidae) zugeordnet werden (MAXWELL et al. 2016; vgl. Kap. 1.2.6.2.). Die hier durchgeführte Einordnung einiger Exemplare zur Melatonschnecke *Turricula* sp. (Clavatulidae), Schlitzturmschnecke *Turris* sp. (Turridae) und Helmschnecke *Cassis* sp. (Cassidae) beruht auf der Arbeit von WAGNER-KLETT (1919). Es handelt sich hier um Exemplare aus der Sammlung des GEOW, die von MAXWELL et al. (2016) nicht berücksichtigt wurde (Tab. 5, vgl. Tab. 47/Anhang).

Bei den Muscheln (Bivalvia) wurden alle von MAXWELL et al. (2016) aufgestellten Taxa mindestens einem Sammlungsexemplar zugeordnet (Tab. 4/Anhang). Aber auch hier enthält die Sammlung des GEOW Exemplare, deren Bestimmung durch WAGNER-KLETT (1919) beibehalten wurde: die Austern *Ostrea* sp. und *Crassostrea cyathula* LAMARCK 1806 (Ostreidae), die Katzenpfote *Plicatula* sp. (Plicatulidae) sowie die Kammmuschel *Pecten* sp. (Pectinidae; Tab. 4/Anhang).

Neben der Gattung *Ova* sp. wurde auch die Bestimmung für einige Sammlungsexemplare der Stachelhäuter (Echinodermata) aus der GEOW-Sammlung als Cidaridae indet. nach WAGNER-KLETT (1919) beibehalten (Tab. 5/Anhang).

Kein bearbeitetes Sammlungsexemplar konnte dem Hummerartigen *Hoploparia klebsi* NOETLING 1885 (Nephroidae) zugeordnet werden (MAXWELL et al. 2016; Tab. 5/Anhang).

Die Bestimmungen der von MAXWELL et al. (2016) erstmals beschriebenen Kieferfüßler (Maxillopoda) für den Fischeschiefer wurden hier übernommen (Tab. 5/Anhang).

4.2.2. Häufigkeit und Diversität

346 taxonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf 77 Schnecken (Gastropoda, 22,3 %), 178 Muscheln (Bivalvia, 51,4 %), 45 Stachelhäuter (Echinodermata, 13 %) und 46 Gliederfüßer (Arthropoda, 13,3 %; Diagr. 8, Tab. 6/Anhang).

Schnecken (Gastropoda): 16 Exemplare sind nicht näher bestimmt (Gastropoda indet., 20,8 %). 36 Exemplare stammen von Kegelschnecken (Conoidea, 46,8 %), vier von Helm- und Melatomschnecken (Cassoidea, 5,2 %), eines von Wendeltreppenschnecken (Epitonioidea, 1,3 %), eines von Mondschnellen (Naticoidea, 1,3 %), 18 von Pelikanfüßen (Stromboidea, 23,4 %) und eines von Buccinoidea (1,3 %). Die häufigsten Gattungen sind *Turris* (Kegelschnecken, 18 Exemplare), *Turricula* (Melatomschnecken, 18 Exemplare) und *Drepanocheilus* (Pelikanfüße, 13 Exemplare; Diagr. 8, Tab. 6/Anhang).

Muscheln (Bivalvia): 20 Exemplare sind nicht näher bestimmt (11,2 %). Drei Exemplare sind den Heterodonta (1,7 %) zugeordnet, drei den Austern (Ostreida, 1,1 %), zwei den Meermandeln (Arcoidea, 1,1 %), zwei den Flügelmuscheln (Pteroida, 1,1 %), fünf den Kammuscheln (Pectinoidea, 2,8 %) und 143 Exemplare den Nussmuscheln (Nuculoidea, 80,3 %). Die häufigste Gattung ist mit 110 Exemplaren die Nussmuschel *Nucula* (Nuculoidea). Die übrigen sind meist durch weniger als zehn Exemplare belegt (Diagr. 8, Tab. 6/Anhang).

Stachelhäuter (Echinodermata): Sechs Exemplare sind nicht näher bestimmt (Echinoidea indet., 13,3 %), bei einem Exemplar handelt es sich um einen nicht näher bestimmten Lanzenseegel (Cidaridae indet., 2,2 %). 29 der 38 Herzseeigel (Spatangoida, 84,4 %) wurden als *Ova* sp. identifiziert (64,4 %; Diagr. 8, Tab. 6/Anhang).

Gliederfüßer (Arthropoda): 46 Exemplare verteilen sich auf 38 Höhere Krebse (Malacostraca) und acht Kieferfüßler (Maxillopoda).

Zehn Höhere Krebse sind nicht näher bestimmt (Malacostraca indet., 21,7 %) und 28 wurden der Art *Coeloma taunicum* VON MEYER 1862 (Zehnfußkrebse, Decapoda) zugeordnet (60,9 %).

Acht Kieferfüßler (Maxillopoda) verteilen sich auf jeweils vier Exemplare (8,7 %) der Seepocken-Gattung *Protochelonibia* (Balanida) und von Entenmuscheln (Pedunculata; Diagr. 8, Tab. 6/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

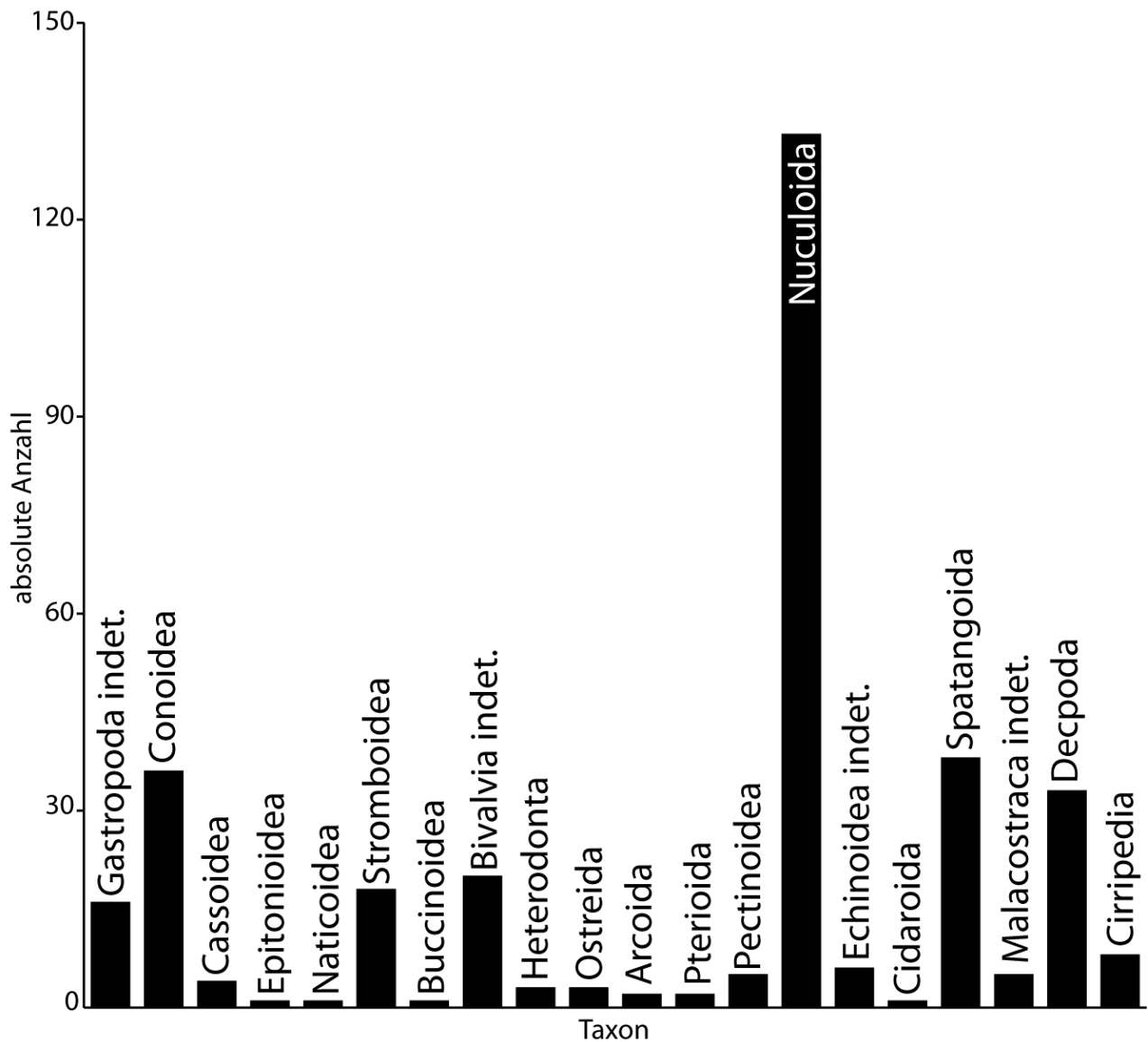


Diagramm 8: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der marinen Wirbellosen (Makro-invertebrata).

4.2.3. Erhaltene Elemente

346 taphonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf 28,6 % Aragonitschalen (Schnecken, Gastropoda), 42,2 % Kalzitschalen (Muscheln, Bivalvia), 17,1 % Magnesium-Kalzitschalen (Stachelhäuter, Echinodermata) und 10,1 % Chitinpanzer (Krebstiere, Crustaceae). Die Häufigkeiten für Ganzkörper und Fragmente liegen jeweils bei unter 1 % (Diagr. 9, Tab. 7/Anhang).

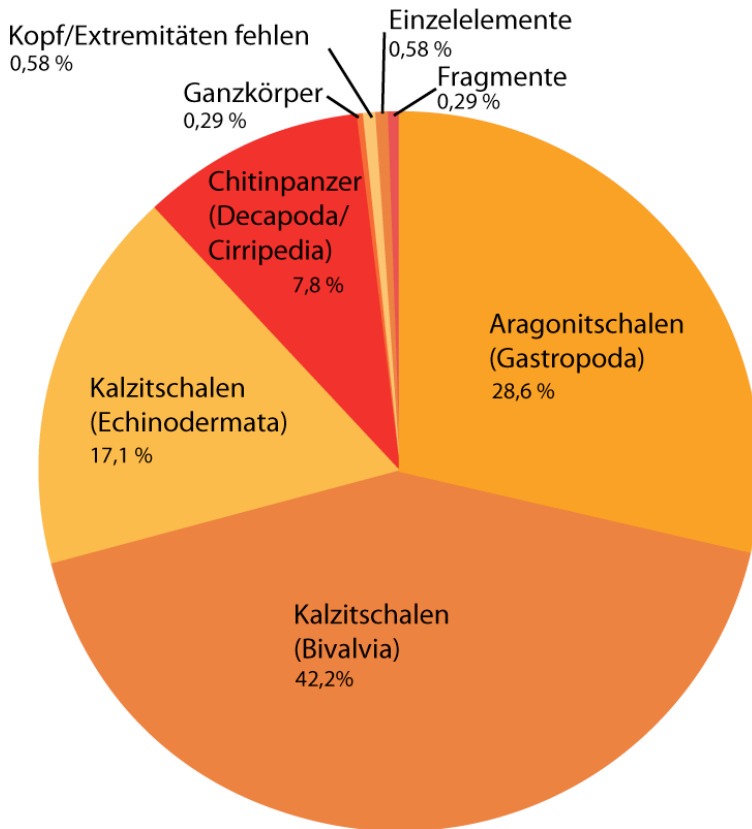


Diagramm 9: Relative Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente von marinen Wirbellosen.

Die Gehäuse, Schalen und Panzer sind oftmals stark fragmentiert (Tafel 9 b, f, h). Muschelschalen kommen sowohl geschlossen als auch disartikulierte vor (Tafel 9 c, d).

Schnecken (Gastropoda): 55,8 % der Schneckenschalen stammen von epibenthisch und 44,2 % von endobenthisch lebenden Arten (Tab. 8/Anhang). Während die Gehäuse von epibenthischen Arten meist dreidimensional und fragmentiert sind, sind jene von den endobenthischen Arten meist plattgedrückt überliefert (vgl. Tafel 9 a, b).

Muscheln (Bivalvia): Muschelschalen sind sowohl geschlossen und artikuliert als auch fragmentiert und disartikuliert überliefert (vgl. Tafel 9 c, d).

Stachelhäuter (Echinodermata): Innerhalb der Seeigel (Echinoidea) sind von den epibenthisch lebenden Lanzenseiegeln (Cidaridae) lediglich fragmentierte Stacheln überliefert. Die Individuen der endobenthisch lebenden Seeigel (Schizasteridae) liegen zu gleichen Teilen sowohl zweidimensional als auch dreidimensional überliefert vor (vgl. Tafel 9 e, f).

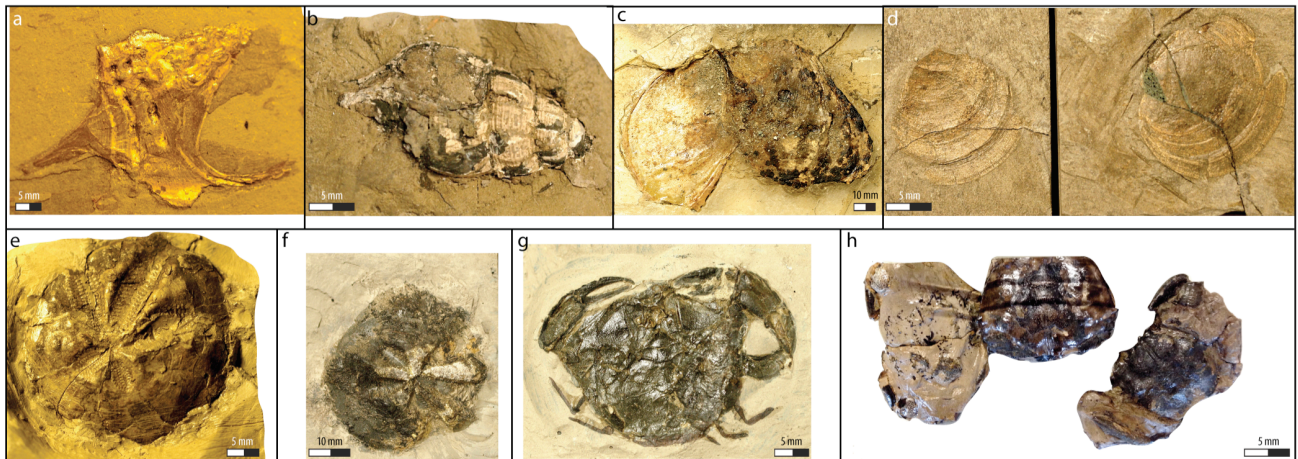
Gliederfüßer (Arthropoda): Zehnfüßkrebse (Decapoda) sind als Ganzkörper, Ganzkörper ohne Kopf und/oder Extremitäten und Panzerfragmente überliefert. Hierbei überwiegen aber klar die Panzerfragmente mit einem Anteil von 90 % der erhaltenen Elemente.

Die Schalen der Seepocken aus der Gattung *Protochelonibia* wurden auf dem Rückenpanzer (Carapax) einer Meeresschildkröte (Cheloniidae, SMNK-PAL 6608) gefunden (ALEXANDER &

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

FREY 2010; vgl. Kap. 4.6.4.).

Die Entenmuscheln (Pedunculata) sind allesamt stark fragmentiert und disartikuliert überliefert.



Tafel 9: Erhaltene Elemente der marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Pelikanfuß *Drepanocheilus* cf. *speciosus* SCHLOTHEIM 1820 (Aragonitgehäuse, zweidimensional, SMNS 106771), b. Buccinoidea *Streptochetus* sp. (Aragonitgehäuse, dreidimensional, fragmentiert, SMNK-PAL 7789), c. Baummuschel *Isognomon* sp. (Kalzitgehäuse, zweidimensional, fragmentiert, disartikuliert SMNK-PAL 7584). d. Meermandel ?*Glycymeris* sp. (Kalzitgehäuse, zweidimensional, disartikuliert, mit Abdruck auf der Gegenplatte, SMNK-Pal 7590), e. unbestimmter Herzseeigel Schizasteridae indet. (Mg-Kalzitschale, dreidimensional, SMNS 19970/2008), f. *Ova* sp. (Mg-Kalzitschale, zweidimensional, stark fragmentiert, SMNK-PAL 7354), g. Malacostraca indet. (Chitinpanzer, zwei dimensional, Beine wurden nachträglich aufgemalt, SMNK-PAL 7797) h. Zehnfußkrebs *Coeloma taunicum* VON MEYER 1862 (Chitinpanzer, dreidimensional, stark fragmentiert, GEOW ohne Nummer, Katalognummer RP01226).

4.2.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen

Die für einen marinen Ablagerungsbereich außergewöhnlich geringe Häufigkeit und Diversität von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) ist wahrscheinlich auf den Umstand zurückzuführen, dass der anoxische Ablagerungsbereich kein geeigneter Lebensraum für den Großteil dieser Tiere war (vgl. Kap. 3.5; BÖCKER & LITKE 2014, GRIMM et al. 2002).

Die hartschaligen Bestandteile der marinen Wirbellosen (Invertebrata) leiden in den meisten marinen Milieus aber auch unter hohen Korrosionsraten und einer schnellen Schalenlösung (ETTER 1994). Das Aragonit im Gehäuse der Schnecken (Gastropoda) und Muscheln (Bivalvia) ist im marinen Bereich instabil und Aragonitlösung findet in hypoxischen Milieus schon frühdiagenetisch statt (ETTER 1994, GRIMM et al. 2002). Die Anreicherung von Kohlenstoff und Eisensulfiden in dem anoxischen Bereich sorgte auch für eine Zersetzung der Magnesium-Kalzitschalen der Seeigel (Echinodermata) sowie des in den Chitinpanzer eingebaute Kalzit der Höheren Krebse (Malacostraca) und der Rankenfußkrebse (Cirripedia). Dadurch wurde Kalzit in Gips umgewandelt (vgl. Kap. 3.5.). Möglicherweise wurden viele Panzer, Schalen und Gehäuse gelöst, was zu einer Verzerrung des Fossilberichtes führte. Allerdings deuten schon die wenigen Spurenfossilien darauf

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

hin, dass zumindest das Endobenthos nur gering divers und wenig abundant war (vgl. Kap. 3.1.).

Die wenigen überlieferten marinen Wirbellosentaxa (Makroinvertebrata) können dennoch wichtige Informationen über die Paläoökologie des Ablagerungsraumes und seiner Umgebung liefern. Im Folgenden werden für die taphonomischen und paläoökologischen Interpretationen zwischen epi- und endobenthisch lebenden Taxa unterschieden.

Endobenthos: 67,6 % der marinen Wirbellosentaxa (Makroinvertebrata) aus dem Fischechiefer haben endobenthisch lebende Verwandte. Insgesamt sind die Nussmuscheln *Nucula* (Nuculanidae) und *Thyasira* (Thyasiridae) sowie die Herzseeigel (Schizasteridae) die häufigsten Taxa (vgl. Kap. 4.2.2.).

Der Großteil der rezenten Vergleichstaxa sind Detritusfresser, welche subtidale Flachwasserbereiche mit Weichsubstrat bevorzugen (Diagr. 10). Rezente Arten der Nussmuscheln *Nucula* (Nuculanidae) und *Thyasira* (Thyasiridae) haben zudem eine hohe Toleranz gegenüber Hypoxie, die es ihnen erlaubt auch in sauerstoffarmen Gewässern zu überleben (HOLMES & MÜLLER 2006; Tab. 8/Anhang). Auch einige rezente Herzseeigel (Schizasteridae), wie z. B. *Echinocardium cordatum* PENNANT 1777, leben in anoxischen Milieus. Sie graben sich dort bis zu 20 cm tief in Sand oder Schlick ein (BROMLEY 1996, ETTER 1994). Die bevorzugten Lebensbereiche dieser rezenten Taxa passen gut zu den sedimentologischen Interpretationen aus Kap. 3.5. und die meist plattgedrückte Erhaltung lässt auf eine autochthone Einbettung der endobenthischen Arten schließen (vgl. Kap. 4.2.3.). Der Großteil dieser Arten hat daher wahrscheinlich im Ablagerungsbereich gelebt (Tab. 8/Anhang). Da die meisten dieser Taxa Flachwasserbereiche bevorzugen, könnte es sein, dass sich nicht nur die Seegraswiesen in einer Wassertiefe von weniger als 50 m befunden haben, sondern auch im Ablagerungsbereich selbst (vgl. Kap. 4.1.4.).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

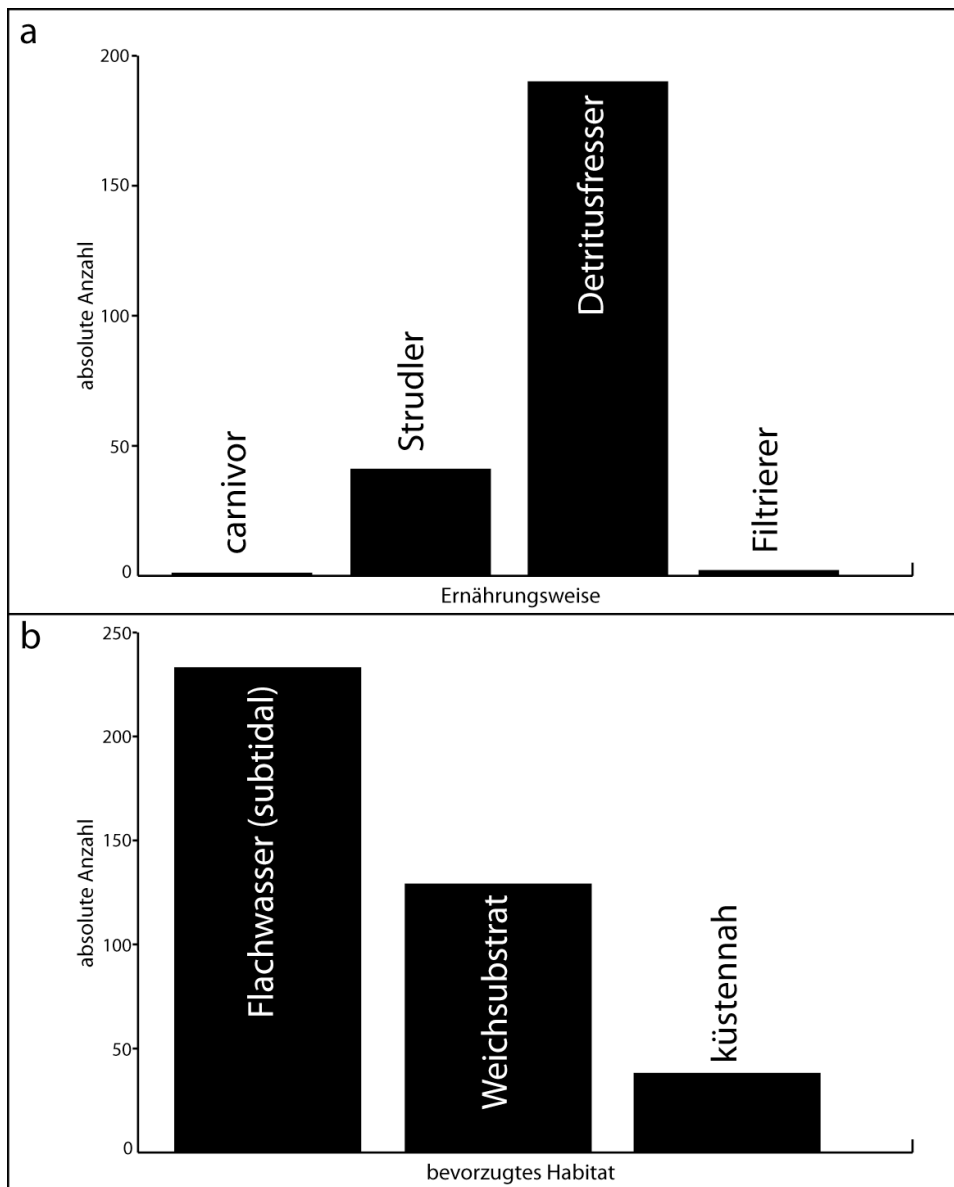


Diagramm 10: Bevorzugte Lebensbedingungen der endobenthischen, marinen Wirbellosen aus dem Fischschiefer. Vergleich mit den rezenten Vergleichstaxa wie in Tab. 8/Anhang gegeben: a. Ernährung, b. Lebensraum.

Epibenthos: Innerhalb der überlieferten marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) haben 32,4 % der rezenten Verwandten eine epibenthische Lebensweise (vgl. Tab. 8/Anhang). Die häufigsten Gattungen sind die Melatonschnecke *Turricula* (Clavatulidae) und der Zehnfußkrebs *Coeloma* (Mathildellidae; vgl. Kap. 4.2.2.).

Insgesamt überwiegen Taxa, die Flachwasserbereiche bevorzugen, und solche, die carnivor leben gegenüber den Strudlern und Filtrieren (Diagr. 11 a, b). Sowohl die rezente Melatonschneckengattung *Turricula* als auch rezente Mathildellidae leben in gut durchlüfteten Flachwasserbereichen subtropischer Gebiete, durch die sie sich auf der Nahrungssuche bewegen (Tab. 8/Anhang). Sessile Arten, wie z. B. die Hufmuschel *Chama* (Chamidae), filtrieren in Flachwasserbereichen unter 30 m (Tab. 8/Anhang). Die rezente Baummuschel *Isognomon* haftet

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

sich in Mangrovensümpfen an den Wurzeln der Bäume fest (Tab. 8/Anhang).

Diese Lebensanforderungen waren im Ablagerungsbereich des Fischschiefers nicht gegeben und grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die epibenthisch lebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) allochthoner Herkunft sind (vgl. Kap. 3.5.). Für längere Transportwege spricht auch, dass Schalen und Panzer, wie z. B. die Muschelschalen von *Isognomon* oder die Panzer von Zehnfußkrebse (Decapoda), meistens disartikulierte überliefert sind (Tafel 9 c, h). Die Schalen epibenthisch lebender Arten werden grundsätzlich schneller disartikuliert als von solchen, die endobenthisch leben (ETTER 1994). Muschelschalen öffnen sich nach dem Tod durch ein Erschlaffen der Ligamente (ETTER 1994). Die Disartikulation erfolgt nach der Zersetzung des Weichteilgewebes. Durch das Fehlen der Ligamente fallen die Schalen auseinander und können getrennt voneinander verfrachtet werden (ETTER 1994). Die wenigen vollständig überlieferten Exemplare, wie z. B. Höhere Krebse (Malacostraca), haben sich vermutlich in das lebensfeindliche Milieu des Ablagerungsbereiches verirrt und sind dann dort umgekommen (vgl. Tafel 9 g). Die Stacheln der Lanzenseegur (Cidaroida) sind aus den bereits genannten Gründen sicherlich auch allochthoner Herkunft. Die Entenmuscheln (Pedunculata) wurden vermutlich durch starke Strömungsereignisse oberhalb des Ablagerungsbereiches von ihrem Substrat abgerissen (z. B. Felsen, Treibholz) und sind dann abgesunken. Die überlieferten Schalen der Seepocken aus der Gattung *Protochelonibia* haben wahrscheinlich schon zu Lebzeiten eine Meeresschildkröte (Cheloniidae, SMNK-PAL 6608) besiedelt und wurden zusammen mit dem Schildkrötenpanzer fossilisiert (ALEXANDER & FREY 2010; vgl. Kap. 4.6.4.).

Die allochthone Einbettung des marinen Epibenthos erlaubt über die rezenten Vergleichstaxa Rückschlüsse auf die paläoökologischen Bedingungen der Umgebung, aber nicht auf den Ablagerungsbereich (vgl. Kap. 3.5., Tab. 8/Anhang). Die lebensfreundlichen Bedingungen im Bereich von Seegrasswiesen hätten Taxa, wie z. B. den Austern (Ostreida), ausreichend Nahrung und Lebensraum geboten (vgl. Kap. 4.1.4.). Der Beleg der Baummuschel *Isognomon* (Pteriidae) deutet darauf hin, dass in der Uferzone östlich der heutigen Tongrube Unterfeld ein Sumpfgebiet existiert haben könnte. Dies würde auch gut zu den botanischen Ergebnissen aus Kap. 4.1.4. passen.

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

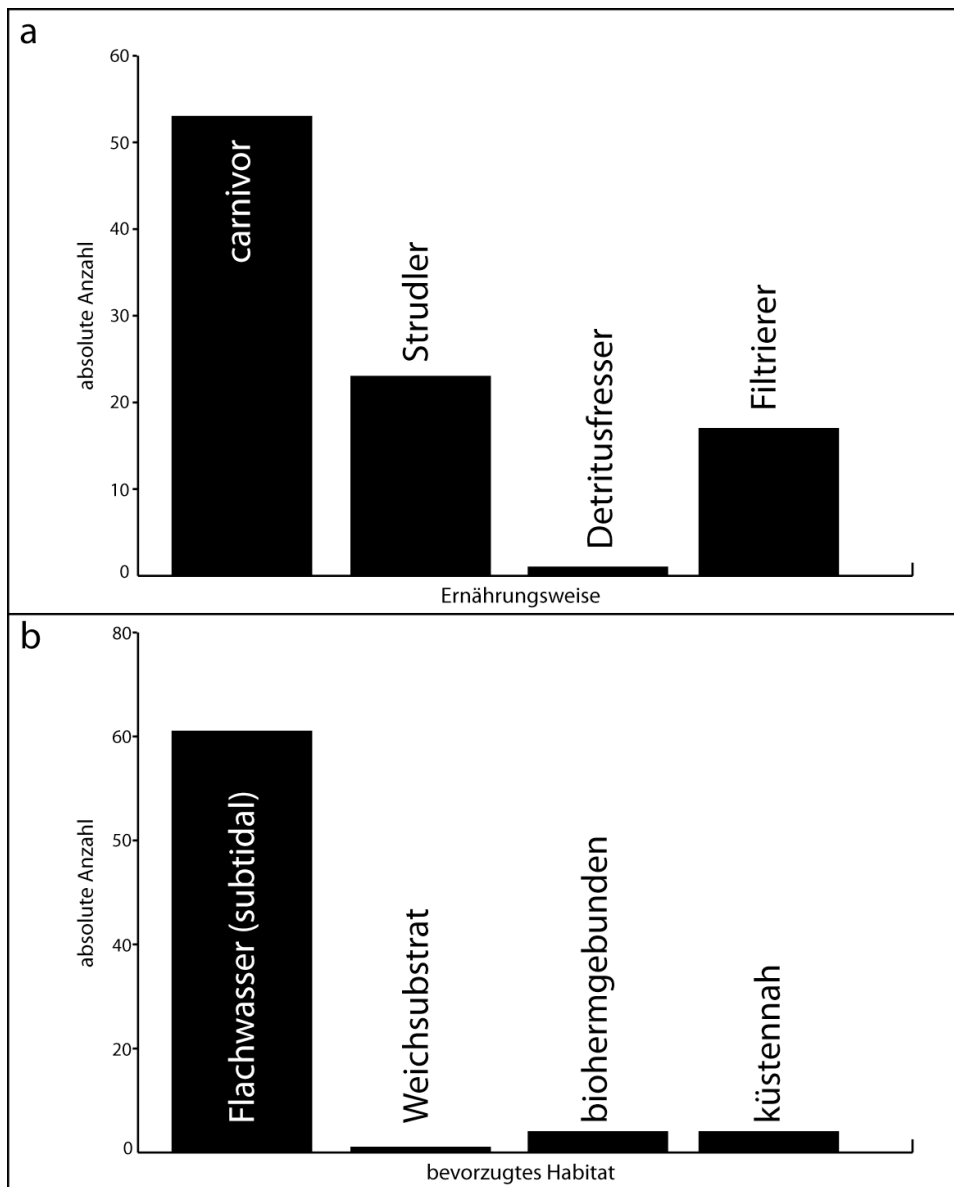


Diagramm 11: Bevorzugte Lebensbedingungen der epibenthischen, marinen Wirbellosen aus dem Fischeisener. Vergleich mit den rezenten Vergleichstaxa wie in Tab. 8/Anhang gegeben: a. Ernährung, b. Lebensraum.

4.3. Landlebende Wirbellose (Makroinvertebrata)

4.3.1. Taxonomischer Überblick

Die landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) umfassen Kieferklauenträger (Chelicerata) und Insekten (Insecta). Letztere wurden erstmals von MONNINGER & FREY (2010) bearbeitet. Die dort vorgestellte Faunenliste wurde von MAXWELL et al. (2016) aktualisiert und um die Kieferklauenträger (Chelicerata) erweitert (Tab. 9/Anhang, vgl. Kap. 1.2.6.2.).

Es wird der Faunenliste von MAXWELL et al. (2016) weitgehend entsprochen, jedoch konnten die beiden Taxa cf. Scorpiones und cf. Elateroidea keinem hier bearbeiteten Sammlungsexemplar aus dem Fischeisener zugeordnet werden (vgl. MAXWELL et al. 2016.).

Mit der Ausnahme einiger weniger Exemplare, die als cf. *Bibio* (Zweiflügler, Diptera) eingeordnet wurden, konnten die landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) aufgrund ihrer schlechten Erhaltung maximal bis zur Familie herab bestimmt werden (MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 9/Anhang, vgl. Kap. 4.3.3.).

4.3.2. Häufigkeit und Diversität

380 Exemplare der taxonomisch untersuchten landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) verteilen sich auf drei Webspinnen (Araneae, 0,8 %) und 377 Insekten (Insecta indet., 99,2 %; Diagr. 12, Tab. 10/Anhang).

Kieferklauenträger (*Chelicerata*): Die drei Webspinnen (Araneae) sind nicht näher bestimmbar (Diagr. 12, Tab. 10/Anhang).

Insekten (*Insecta*): 149 Exemplare stammen von nicht näher bestimmbar Insekten (Insecta indet., 39,5 %).

Vier Libellen (Odonata, 1,6 %) wurden den Kleinlibellen (Zygoptera) zugeordnet, die übrigen sind nicht näher bestimmt (Odonata indet., 0,5 %).

Drei Neuflügler sind nicht näher bestimmt (Neoptera indet., 0,8 %).

Zwei Heuschrecken sind ebenfalls nicht näher bestimmt (Orthoptera *i.e.S.*, 0,5 %).

29 Schnabelkerfen (Hemiptera, 7,7 %) verteilen sich auf zwei unbestimmte Exemplare (Hemiptera indet., 0,5 %), 27 Wanzen (Heteroptera, 7,1 %) und vier Zikaden (Auchenorrhyncha, 1,1 %). Innerhalb der Wanzen wurden drei Exemplare als Baumwanzen (Pentatomidae, 0,8 %) klassifiziert. 18 Zweiflügler (Diptera, 4,7 %) verteilen sich auf 14 unbestimmte Exemplare (cf. Diptera, 3,9 %) und vier Haarmücken (Bibionidae, 1,1 %). Drei Haarmücken (Bibionidae) wurden der Gattung *Bibio* zugeordnet (0,8 %).

159 Käfer (Coleoptera, 42 %) verteilen sich auf 146 unbestimmte Exemplare (Coleoptera indet., 38,5 %), einen Prachtkäfer (cf. Buprestidae, 0,3 %), sechs Rüsselkäfer (Curculionoidea, 1,6 %), zwei Bockkäfer (Cerambycidae, 0,5 %) und einen Kurzflügler (cf. Staphylinidae, 0,3 %).

Drei von neun Hautflüglern (Hymenoptera, 2,4 %) wurden als Ameisen (Formicidae indet.) bestimmt.

Zwei Schmetterlinge (Lepidoptera, 0,5 %) wurden den Spannern (Geometridae indet.) zugeordnet (Diagr. 12, Tab. 10/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

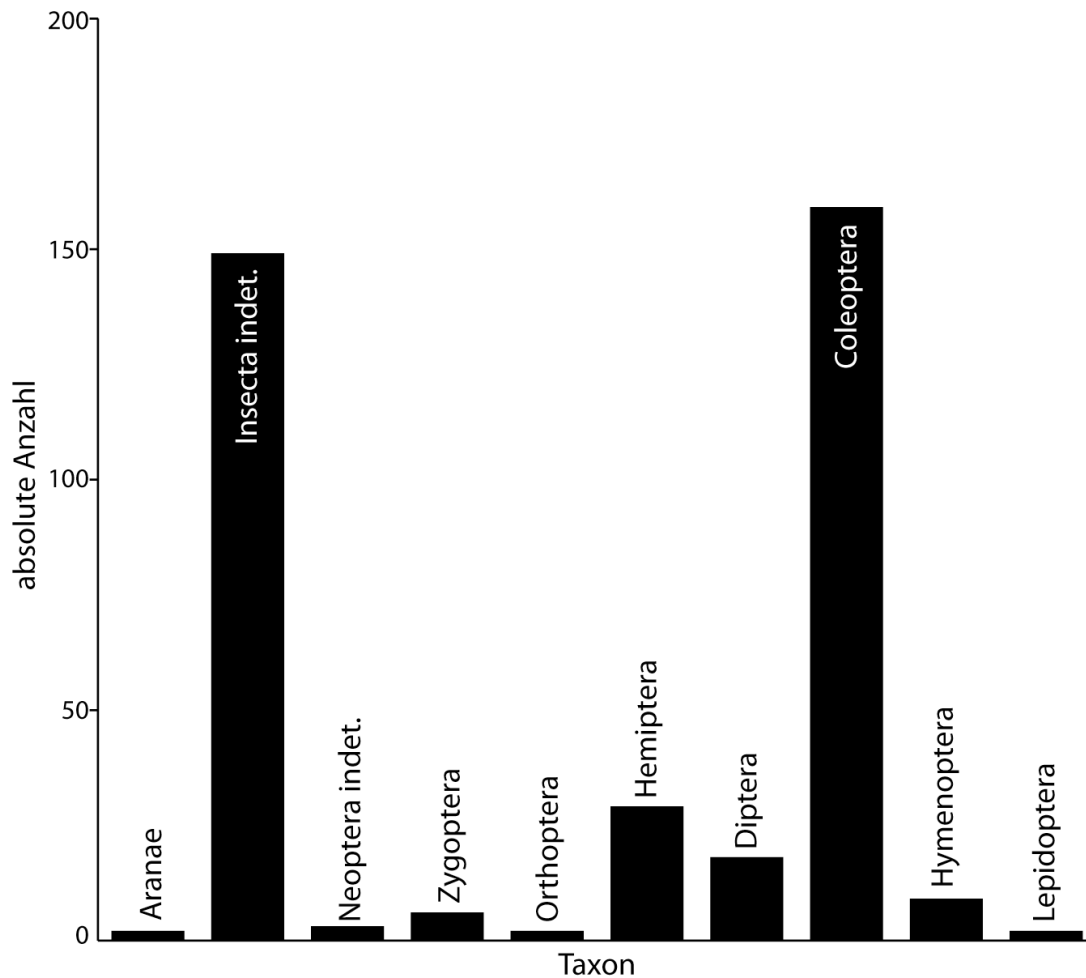


Diagramm 12: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata).

4.3.3. Erhaltene Elemente

380 taphonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf 58 Ganzkörper (15,3 %), 186 Ganzkörper ohne Kopf und/oder Extremitäten (48,9 %), 61 Einzelelemente (16,1 %) und 75 Fragmente (19,7 %; Diagr. 13, Tab. 11/Anhang).

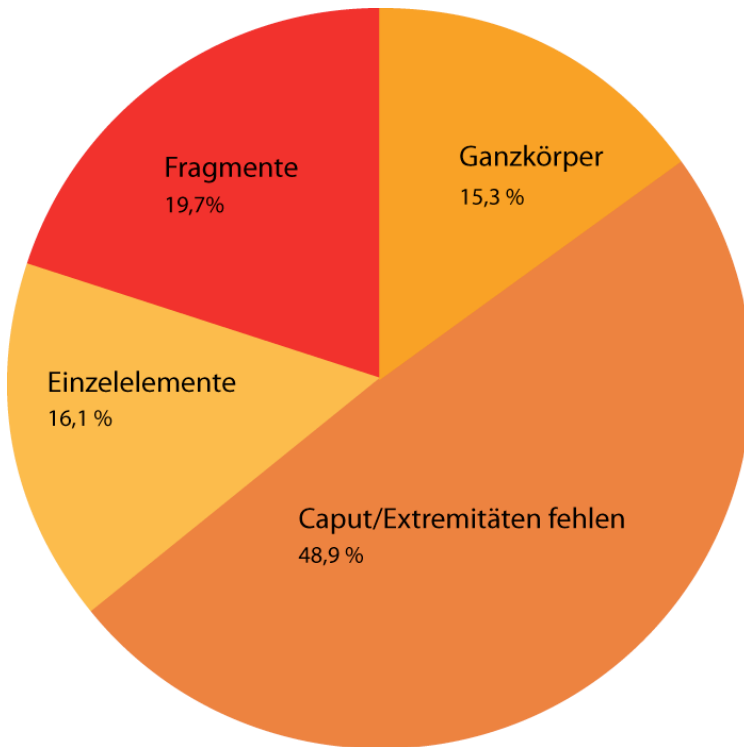
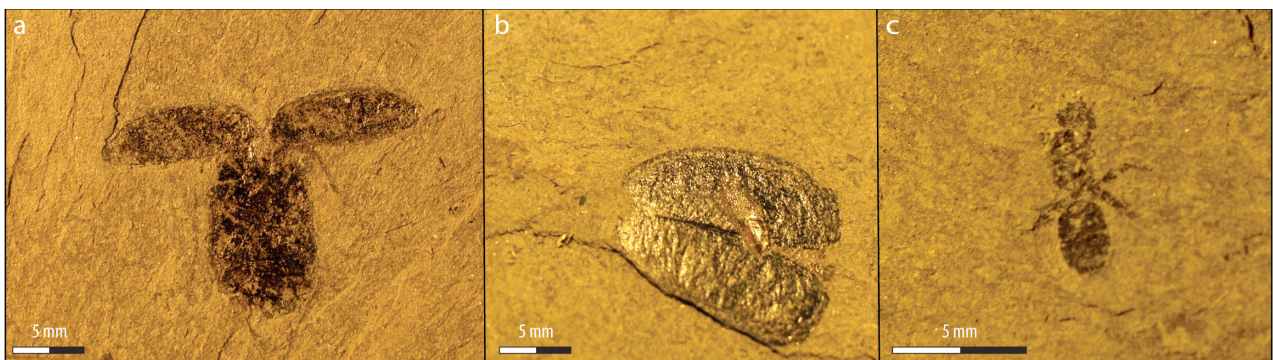


Diagramm 13: Relative Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata).

Innerhalb der Insekten (Insecta) überwiegen Exemplare, an denen der Kopf und/oder Extremitäten fehlen (Tafel 10 a). Es handelt sich hierbei meist um Käfer (Coleoptera) und Schnabelkerfen (Hemiptera). Käfer (Coleoptera) sind auch häufig durch isolierte Deckflügel (Elytren) überliefert (Tafel 10 b). Ganzkörper mit Kopf und/oder Extremitäten (Tafel 10 c), isolierte Elemente oder Fragmente sind vergleichsweise selten (vgl. Diagr. 13).



Tafel 10: Erhaltene Elemente der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Käfer, Coleoptera indet. (Ganzkörper ohne Kopf und Extremitäten SMNS Konv. Oechsler 75/2014, 39), b. Käfer, Coleoptera indet. (isolierte Elemente, Deckflügel (Elytren), SMNS Konv. Oechsler 75/2014, 50), c. Ameise, Formicidae indet. (Ganzkörper, SMNS 12719/2008,161).

4.3.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen

Flugfähige Arten landlebender Wirbelloser (Makroinvertebrata) konnten aus eigener Kraft über die Wasseroberfläche fliegen und gelangten dort vermutlich durch Abstürzen in den Ablagerungsbereich. Nach einem taphonomischen Modell für Insekten (Insecta) werden schlechte Flieger, wie z. B. Käfer (Coleoptera) und Schnabelkerfen (Hemiptera) eher ufernah abgelagert, während in uferfernen Ablagerungen tendenziell die guten Flieger, wie z. B. Hautflügler (Hymenoptera) und Zweiflügler (Diptera) häufiger sind (WILSON 1980, 1982, 1988a, b). Auch wenn das Modell von WILSON (1980, 1982, 1988a, b) auf lakustrine Ablagerungen angewandt wurde, so ist dieser Befund durchaus auf den Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ übertragbar. WILSON (1980, 1982, 1988a, b) hat mit sehr großen Seen gearbeitet, welche dem Meer entsprechend lange Driftzeiten für Insekten (Insecta) ermöglichen (WAPPLER 2003). Die hohe Abundanz von Käfern (Coleoptera) bestätigt nach WILSON (1980, 1982, 1988a, b) den Befund, dass der Ablagerungsraum des Fischschiefers ufernah gelegen war (vgl. Kap. 3.5, 4.1.4.). Die hohe Abundanz von Käfern (Coleoptera) und Schnabelkerfen (Hemiptera) im Vergleich zu anderen Insekten (Insecta) hängt womöglich auch mit dem robusten Bau des Außenskelettes und der sklerotisierten Deckflügel (Elytren) dieser Tiere zusammen (BEUTEL & LESCHEN 2005, WAPPLER 2003).

Aktuopaläontologische Versuche haben gezeigt, dass z. B. Heuschrecken (Orthoptera *i.e.S.*) lange ohne zu ertrinken an der Wasseroberfläche überleben können (WAPPLER 2003). Dies führt auch zu langen Driftzeiten. Womöglich sind Heuschrecken (Orthoptera *i.e.S.*) im Fischschiefer so selten, weil jene, welche auf der Wasseroberfläche landeten über den Ablagerungsbereich hinaus drifteten. Sie könnten auch bereits weit über das Meer hinaus geflogen sein, wie es z. B. bei den Schwarmflügen der Weibchen erfolgt (WILSON 1980, 1982, 1988a, b, WAPPLER 2003).

Während flugfähige Arten aus eigener Kraft über die Wassersäule fliegen konnten, war der Eintrag von flugunfähigen Arten, z. B. von Kieferklauenträger (Chelicerata), nur passiv (äolisch oder fluviatil) möglich. Ablandige Winde oder auch Sturmereignisse könnten diese Tiere aus dem bewaldeten Küstenstreifen in den Ablagerungsbereich getragen haben (vgl. Kap. 3.5.).

Neben der Flugfähigkeit der Insekten (Insecta) können noch weitere Faktoren den Fossilbericht verzerrt haben. Die Vegetation des Ufers hat einen Filtereffekt auf die landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata; vgl. Kap. 4.1.4.). Dadurch könnten viele Tiere die Wasseroberfläche über dem Ablagerungsraum gar nicht erst erreicht haben (WAPPLER 2003). Auch Fressfeinde, wie z. B. Knochenfische (Teleostei), haben sicherlich eine Fossilisation von Gliederfüßern (Arthropoda) im großen Umfang verhindert (WAPPLER 2003). Weitere aus dem Fischschiefer bekannte Beutegreifer, wie z. B. Fledermäuse (Microchiroptera) und Vögel (Aves), hatten wahrscheinlich auch einen

Einfluss auf die Zusammensetzung der Insektentaphozönose (vgl. Kap. 4.6.2.).

Diese Filtereffekte sorgten sicherlich dafür, dass sich die ehemalige Biozönose von der heute sichtbaren Taphozönose unterscheidet (WAPPLER 2003; vgl. Kap. 4.3.2.). Zudem verhindert die fehlende eindeutige Bestimmbarkeit der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) einen Vergleich mit rezenten Gattungen oder Arten (vgl. Kap. 4.3.1., 4.3.2., 4.3.3.). Damit sind keine stenöken Arten, die einen geringen Toleranzbereich anzeigen würden, bekannt und jede paläoökologische Interpretation an dieser Stelle wäre zu wagen (vgl. MONNINGER & FREY 2010).

Das häufige Fehlen der Extremitäten bei den Insekten (Insecta) aus dem Fischschiefer kann mehrere Gründe haben. Entweder sind sie beim Transport abgefallen, wurden von anderen Tieren abgerissen oder sie wurden bei toten Exemplaren nach ventral eingeklappt. So sind die Extremitäten von dorsal nicht mehr zu sehen (MONNINGER & FREY 2010).

Darüber hinaus könnten Überreste von landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) auch überaus häufig im Fischschiefer vorkommen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der taphonomischen Analyse der übrigen Taxa (vgl. Kap. 4.1.3, 4.2.3., 4.4.3., 4.5.3., 4.6.3.) ist davon auszugehen, dass Fragmente im Fischschiefer insgesamt sehr häufig sind. Aber gerade Fragmente von Insekten (Insecta) und Kieferklauenträger (Chelicerata) sind in dem dunklen Gestein sehr schlecht zu erkennen.

4.4. Knorpelfische (Chondrichthyes)

4.4.1. Taxonomischer Überblick

Die erste Faunenliste zu Knorpelfischen (Chondrichthyes) aus dem Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ stammt von HOVESTADT et al. (2010). Diese wurde von MAXWELL et al. (2016) übernommen und um den Adlerrochen *Myliobatis* aff. *M. oligocaenus* LERICHE 1910 (Myliobatidae) erweitert (vgl. Kap. 1.2.6.3., Tab. 12/Anhang). Während der durchgeführten Sammlungsarbeiten konnte kein bearbeitetes Exemplar zweifelsfrei der Dornhaiart *Squalus alsaticus* ANDREAE 1892 (Squalidae) zugeordnet werden. HOVESTADT et al. (2010) bildeten einen Zahn ab, jedoch ohne Angabe einer Sammlungsnummer.

In der Literatur wird keine alternative Bestimmung für SMF-P 9767 (ursprünglich Makrelenhai *Isurus desori* AGASSIZ 1844, Lamnidae) und HLMD-V 1548 (ursprünglich *Otodus angustidens* AGASSIZ 1843, Otodontidae) angegeben. Daher wird die ursprüngliche Nomenklatur für diese Exemplare in der vorliegenden Arbeit beibehalten (Tab. 12/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

4.4.2. Häufigkeit und Diversität

19 Ganzkörperfossilien von Knorpelfischen (Chondrichthyes) wurden taxonomisch untersucht und verteilen sich auf ein nicht näher bestimmtes Exemplar (Chondrichthyes indet., 5,3 %), eine Seekatze (Chimaeriformes, 5,3 %), 15 Haie (Selachii, 78,9 %) und zwei Rochen (Batoidea, 10,5 %; Diagr. 14, Tab. 13/Anhang).

Seekatzen (Chimaeriformes): Der Überrest einer Kurznasenseekatze ist nicht näher bestimmbar (Chimaeridae indet.; Diagr. 14, Tab. 13/Anhang).

Haie (Selachii): Sechs Haie sind nicht näher bestimmt (Selachii indet., 40 %).

Zwei von vier Sandhaien (Odontaspidae) sind nicht näher bestimmt (Odontaspidae indet., 13,3 %). Die anderen beiden Sandhaie (Odontaspidae) verteilen sich auf die Gattung *Carcharias* sp. (5,3 %) und die Art *Carcharias gustrowensis* WINKLER 1875 (5,3 %).

Bei dem Riesenhai handelt es sich um die Art *Keasius parvus* LERICHE 1908 (Cetorhinidae, 5,3 %). Ein Makrelenhaiartiger ist nicht näher bestimmt (Lamniformes indet., 5,3 %). Die beiden Makrelenhaie verteilen sich auf die Art *Isurolamna gracilis* LE HON 1871 und die Gattung *Isurus* sp. (Lamnidae, 10,5 %).

Der Grundhai *Physogaleus latus* STORMS 1894 wurde im Fischeschiefer durch ein Exemplar belegt (Carcharhiniformes inc. sed., 5,3 %). Weiterhin ist innerhalb der Grundhaie (Carcharhiniformes) ein Exemplar von *Triakis kelleri* HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2002 (Triakidae, 5,3 %) bekannt (Diagr. 14, Tab. 13/Anhang).

Rochen (Batoidea): Zwei Exemplare belegen das Vorkommen des Adlerrochens *Weissobatis micklichi* HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 1999 (Myliobatidae; Diagr. 14, Tab. 13/Anhang).

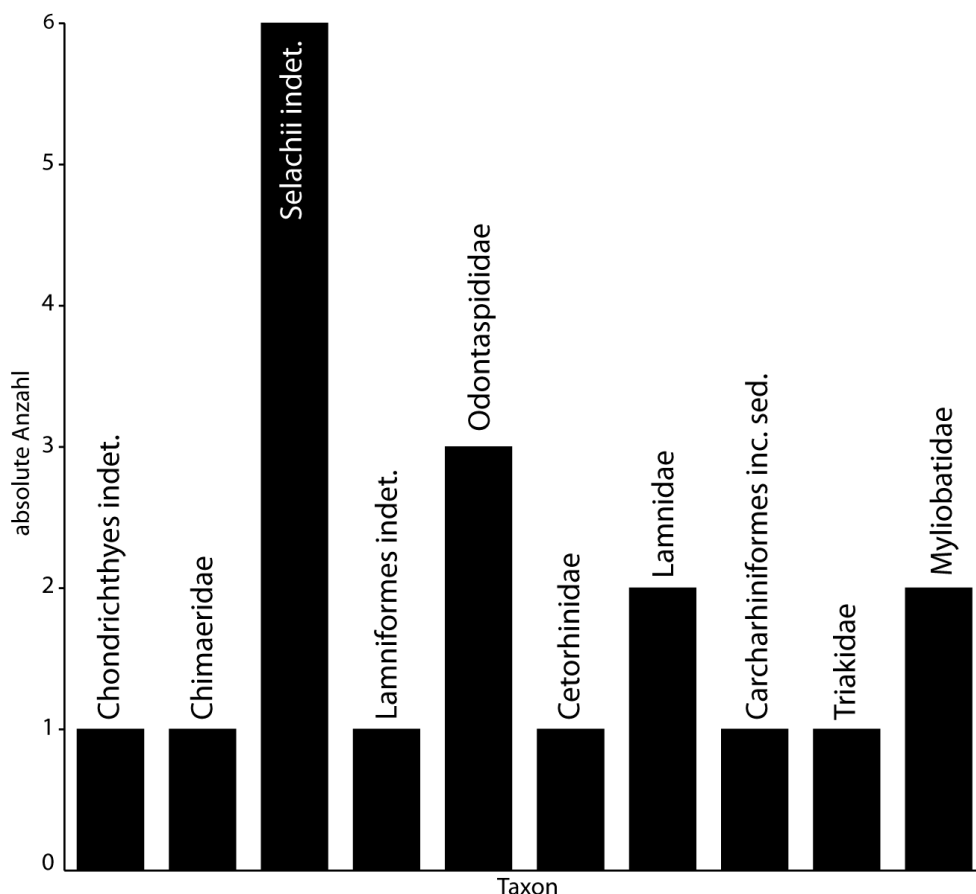


Diagramm 14: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Knorpelfische (Chondrichthyes).

Sieben weitere Arten wurden durch Zähne oder Zahnreihen nachgewiesen: die Sandhaie *Carcharias acutissima* AGASSIZ 1843 und *Carcharias cuspidata* AGASSIZ 1843 (Odontaspidae), die Makrelenhaie *Isurulamna gracilis* LE HON 1871 und *Isurus desori* AGASSIZ 1844 (Lamnidae), *Otodus angustidens* AGASSIZ 1843 (Odontodontidae), der Kammerzähnerhai *Notorhynchus primigenius* AGASSIZ 1844 (Hexanchidae) und der Adlerrochen *Myliobatis* aff. *M. oligocaenus* LERICHE 1910 (Myliobatidae; vgl. Tab. 14/Anhang, Kap. 4.4.3.).

4.4.3. Zerfallsstufen

Insgesamt 2.644 untersuchte Exemplare von Knorpelfischen (Chondrichthyes) verteilen sich auf fünf Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4, 0,2 %), 56 Körperteile (Zerfallsstufen 5 bis 8, 2,1 %) und 2.583 Einzelelemente (Zerfallsstufen 9 und 10, 97,7 %; Diagr. 15, Tab. 14/Anhang).

Seekatzen (*Chimaeriformes*): Es ist lediglich ein Flossenstachel überliefert (Zerfallsstufe 10).

Haie (*Selachii*): 2.639 Exemplare verteilen sich auf drei Ganzkörper (Zerfallsstufe 3 und 4, 0,1 %), 50 Kiemenreusendornenbündel (Zerfallsstufen 5 und 6, 1,9 %), 27 isolierte Wirbel oder Wirbelsäulen (Zerfallsstufe 8, 1,0 %), 101 Zähne (Zerfallsstufe 9 und 10, 3,8 %) und

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

2.459 Kiemenreusendornen (Zerfallsstufen 9 und 10, 93,2 %).

Rochen (*Batoidea*): Es liegen vier Symphysenzähne (Zerfallsstufe 9 und 10, 44,4 %), eine isolierte Kauplatte (Zerfallsstufe 9, 11,1 %) und zwei Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4, 22,2 %) vor.

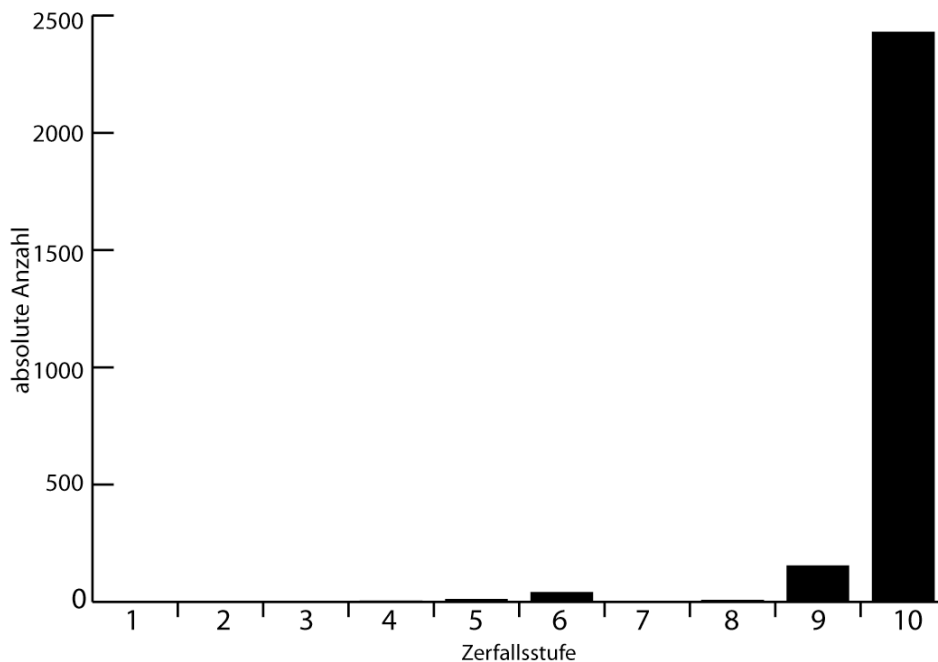


Diagramm 15: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Chondrichthyes (Selachii).

Mit einem Anteil von 92 % überwiegt die Zerfallsstufe 10 gegenüber den übrigen signifikant.

Bei wiederum 98,6 % der Exemplare, die in die Zerfallsstufe 10 fallen, handelt es sich um die Kiemenreusendornen der Riesenhaigattung *Keasius* (Cetorhinidae). Artikulierte Kiemenreusendornenbündel (Zerfallsstufe 5 und 6) sind dagegen mit einer Häufigkeit von 1,8 % vergleichsweise selten (vgl. Diagr. 15).

4.4.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen

Das Skelett der Knorpelfische (Chondrichthyes) besteht aus hyalinem Knorpel, der nur ein geringes Erhaltungspotential hat. Dies hat zur Folge, dass meist nur die harten Zähne und Kiemenreusendornen aus Hydroxylapatit überliefert werden (BENTON 2007). Die mit zunehmenden Lebensalter fortschreitende polygonale prismatische Kalzifizierung aus Hydroxylapatit in den Kiefern und Wirbeln erhöht das Erhaltungspotential dieser Skelettelemente (WESTHEIDE & RIEGER 2009, vgl. Tab. 14/Anhang).

Haie (*Selachii*): Sowohl die meisten Körperfossilien als auch die meisten Zahnfunde stammen von

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Sandhaien (Odontaspidae). Hierbei überwiegen mit 31 Exemplaren die Zähne von *Carcharias cuspidata* AGASSIZ 1843. Am zweithäufigsten sind die Zähne des Grundhais *Physogaleus latus* STORMS 1894 (Carcharhiniformes inc. sed., 26 Exemplare). Daneben stammen 2.459 isolierte Kiemenreusendornen von dem Riesenhai *Keasius* (Cetorhinidae; vgl. Diagn. 15).

Die rezente Vergleichsart für den Sandhai *Carcharias cuspidata* AGASSIZ 1843, der Schildzahnhai *Odontaspis ferox* RISSO 1810 (Odontaspidae), hält sich üblicherweise in Wassertiefen von 10 bis 880 m auf (COMPAGNO 1984a, MAXWELL et al. 2016). Trächtige Weibchen werden oft in Küstengewässern gesichtet. Womöglich gebären sie dort ihre Jungen (COMPAGNO 1984a). Die rezente Vergleichsart für den Sandhai *Carcharias gustrowensis* WINKLER 1875 (Odontaspidae), der Bullenhai *Carcharhinus leucas* MÜLLER & HENLE 1839 (Carcharhinidae), bevorzugt Küstengewässer subtropischer bis tropischer Gebiete und toleriert hierbei sowohl Brack- als auch Süßwasser (MAXWELL et al. 2016, COMPAGNO 1984b). Diese Haie (Selachii) schwimmen auch flussaufwärts und sind sogar in Seen anzutreffen (COMPAGNO 1984b). Der rezente Requiemhai *Galeocerdo* (Carcharinidae), die Vergleichsart für den Grundhai *Physogaleus latus* STORMS 184 (Carcharhiniformes inc. sed.), lebt hauptsächlich in flachen subtropischen bis tropischen Gewässer mit sandigen und siltigen Böden (HOVESTADT et al. 2010). Dagegen bevorzugt die rezente Vergleichsart für den Riesenhai *Keasius parvus* LERICHE 1910, *Cetorhinus maximus* GUNNERUS 1765 (Cetorhinidae), hauptsächlich das gemäßigte Klima und tiefe Gewässer (LAST & STEVENS 1994, HOVESTADT et al. 2010). Heutige Riesenhaie (Cetorhinidae) kommen in den Sommermonaten auf der Suche nach Plankton aber auch in die Nähe von Küsten (LAST & STEVENS 1994, HOVESTADT et al. 2010).

Während die Lebensanforderungen der zahntragenden Haiarten gut zu dem hier konstruierten Ablagerungsbereiches des Fischeschiefers als subtropischer, küstennaher Flachwasserbereich passen, stellt eine solche Umgebung nicht das bevorzugte Habitat für Riesenhaie (Cetorhinidae) dar (vgl. Kap. 4.1.4., 4.2.4. 4.3.4.). Da sämtliche Überreste von Haien (Selachii) disartikuliert und fragmentiert vorliegen und oft auch nur Wirbel oder Wirbelsäulenabschnitte erhalten sind, ist davon auszugehen, dass die Kadaver lange Driftzeiten unterlegen waren (vgl. Kap. 4.4.3.).

Das Skelett des schwangeren Weibchens eines Sandhais *Carcharias gustrowensis* WINKLER 1875 (Odontaspidae, HLMD-WT 431, Zerfallsstufe 4) ist mit den Resten einer Kurznasenseekatze (Chimaeridae) und eines Adlerrochens (Myliobatidae) assoziiert (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2010). Die in der Nähe des Mauls gefundenen Reste werden als die Überreste der letzten Mahlzeiten gedeutet und möglicherweise ist der Sandhai (Odontaspidae) auch durch einen Stich des Adlerrochens (Myliobatidae) verendet (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2010). Wie schon angedeutet ist aufgrund der spärlichen Erhaltung nicht gesichert, dass sich einer der drei Taxa von

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

HLMD-WT 431 auch lebend im Ablagerungsbereich aufgehalten hat (HOVESTADT et al. 2010).

Das juvenile Exemplar des Riesenhais *Keasius parvus* LERICHE 1908 (Cetorhinidae, HLMD-WT 601 a, Zerfallsstufe 4) könnte ebenfalls schon außerhalb des Ablagerungsbereiches einem der vielen anderen Hai-Arten zum Opfer gefallen und in den Ablagerungsbereich eingedrftet sein (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2012). Für das Exemplar des Glatthais *Triakis kelleri* HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2002 (Triakidae), das sich im Bauchbereich eines Grundhais *Physogaleus latus* STORMS 1894 (Carcharhiniformes inc. sed.) befindet (HLMD-SMFF 142), mag das Gleiche gelten wie für die oben diskutierte Kurznasenseekatze (Chimaeridae). Der kleinere Glatthai (Triakidae) kann bereits außerhalb des Ablagerungsraumes gefressen worden sein und muss sich also nicht dort aufgehalten haben. Da von beiden Exemplaren auch wieder nur fragmentierte Wirbelsäulenabschnitte überliefert sind, ist ein Verdriften des Grundhais in den Ablagerungsbereich auch in diesem Fall höchst wahrscheinlich (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2002).

Die weitaus höhere Abundanz von Zähnen und Kiemenreusendornen gegenüber den Ganzkörperfossilien innerhalb der Haie (Selachii) erklärt sich neben dem erhöhten Erhaltungspotential auch aus dem ständigen Erneuern des Zahn- und Kiemenreusenapparates beim lebenden Tier (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Die höhere Abundanz von Kiemenreusendornen gegenüber derjenigen von Zähnen könnte damit zusammenhängen, dass Riesenhaie (Cetorhinidae) weitaus mehr Kiemenreusendornen besitzen als die zahntragenden Arten Zähne (WESTHEIDE & RIEGER 2009).

Wie bereits angedeutet, passen die ökologischen Anforderungen der zahntragenden Haiarten zu der Rekonstruktion eines küstennahen, flachmarinen Ablagerungsbereiches und machen es möglich, dass die Tiere zumindest die oberen, sauerstoffreichen Wasserschichten durchschwammen, vorausgesetzt das Wasser war tief genug (vgl. Kap. 4.2.4.). Die geringe Abundanz der fossilen Überreste von Haien (Selachii) deutet aber darauf hin, dass dies nur sehr selten geschah (vgl. Kap. 4.4.2., 4.4.3.). Es ist auch möglich, dass die Tiere auf der Suche nach geeigneten Plätzen zum Gebären oder nach Nahrung den Ablagerungsbereich häufiger durchschwammen als es der Fossilbericht andeutet.

Wie bereits diskutiert, stimmt das bevorzugte Habitat des Riesenhais *Keasius* (Cetorhinidae) nicht mit der hier bisher dargestellten Interpretation des Ablagerungsbereiches des Fischschiefers überein (vgl. Kap. 3.5., 4.1.4.). Die Riesenhaie (Cetorhinidae) könnten während den Planktonblüten den Ablagerungsbereich aktiv aufgesucht haben, immer vorausgesetzt, dass eine entsprechende Wassertiefe vorhanden war (vgl. Kap. 3.5.). Andererseits werden die Kiemenreusendornen vom rezenten Riesenhai *Cetorhinus maximus* GUNNERUS 1765 (Cetorhinidae) auch in einem Zeitraum

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

von vier bis fünf Monaten vollständig ausgetauscht und könnten während solcher Perioden in den Ablagerungsraum gelangt sein (WESTHEIDE & RIEGER 2009; vgl. Diagr. 2). Die vertikale Häufigkeitsverteilung der Kiemenreusendornen im Profil der Tongrube Unterfeld zeigt, dass diese während der Ablagerungszeit des FS B in regelmäßigen Abständen massenhaft in den Ablagerungsbereich gelangten (vgl. Diagr. 2). Die vertikale Häufigkeitsverteilung der Kiemenreusendornen im Vergleich zu den übrigen Funden und die daraus resultierenden paläoökologischen Interpretationen werden in Kap. 5 diskutiert.

Rochen (*Batoidea*): Nur wenige Exemplare sind bekannt (Tab. 70/Anhang) und es handelt sich ausschließlich um Arten aus der Familie der Adlerrochen (Myliobatidae; vgl. Kap. 4.2.4.).

Rezente Adlerrochen (Myliobatidae) leben in flachen Gewässern von Küsten, Lagunen und Buchten. Sie ernähren sich von endobenthisch lebenden Tieren, wie z. B. Weichtiere (Mollusca) und kleinen Fischen (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Sie haben eine überwiegend bodenbezogene Lebensweise (Myliobatidae; WESTHEIDE & RIEGER 2009; vgl. Kap. 3.5.).

Die beiden Ganzkörperfossilien sind unterschiedlich gut erhalten. Ein Exemplar ist fast vollständig und artikuliert (Zerfallsstufe 3, SMNK-PAL 2336; vgl. Tafel 3 a), das andere ist teilartikuliert und fragmentiert (Zerfallsstufe 4, SMNK-PAL 2337). Das Individuum SMNK-PAL 2336 könnte sich bei der Nahrungssuche in den sauerstoffarmen Ablagerungsbereich verirrt haben und dort umgekommen sein (LAST & STEVENS 1994). Das Fossil weist einen unterschiedlichen Artikulationsgrad der Körperteile auf. Während der mittlere Teil des Körpers stärker disartikuliert ist, sind die großen flachen Brustflossen artikuliert überliefert (HOVESTADT et al. 2010; vgl. Tafel 3 a). HOVESTADT et al. (2010) schlossen aus diesem Erhaltungsmuster, dass die anoxische Schicht nur knapp über dem Meeresboden endete (vgl. Kap. 4.4.3.). Destruenten und anderes Benthos würden den Kadaver eines Rochens (*Batoidea*) nur an solchen Stellen erreichen, wo er in die sauerstoffreichen Wasserschichten hineinragte.

Das Individuum des Exemplars SMNK-PAL 2337 könnte bereits als fragmentierter Kadaver an der Wasseroberfläche in den Ablagerungsbereich gedriftet sein. Nach einem Absinken wurde er am lebensfeindlichen Meeresboden unterhalb der SWB nicht mehr weiter zersetzt und so fragmentiert eingebettet (vgl. Kap. 3.5.).

Kauplatten und Symphysenzähne von Rochen (*Batoidea*) sind im Gegensatz zu den Zähnen und Kiemenreusendornen der Haie (*Selachii*) im Fischschiefer sehr selten (vgl. Kap. 4.4.3.).

Die Kauplatten werden vom lebenden Tier nicht gewechselt (LAST & STEVENS 1994). Daher deutet deren isolierte Erhaltung auf eine vollständige Zersetzung des restlichen Kadavers hin. Womöglich stammt die Kauplatte aus einer Schicht, welche unter eher oxischen Bedingungen abgelagert wurde. Vielleicht stammt sie aber auch von einem driftenden Kadaver, von dem sie abgefallen ist. Da es

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

sich hierbei um ein Sammlungsexemplar handelt, ist die Fundschicht unbekannt (vgl. Kap. 2.1.).

Grundsätzlich haben Haie (Selachii) und Rochen (Batoidea) keine Schwimmblase, so dass die Tiere nach dem Tod zügig auf den Meeresboden absinken. Dies wird durch eine hohe Körperdichte zusätzlich begünstigt (WESTHEIDE & RIEGER 2009, REISDORF et al. 2012). Daher ist es möglich, dass Kadaver vereinzelter Individuen, welche in den bodennahen, sauerstoffarmen Wasserschichten umkamen, dadurch nahezu vollständig erhalten geblieben sind.

Ein Wiederauftreiben und längeres Driften an der Wasseroberfläche ist nur dann möglich, wenn am Meeresboden ein geringer hydrostatischer Druck herrscht. Dies ist in geringen Wassertiefen der Fall (REISDORF et al. 2012). Beobachtungen an Kadavern von Walen (Cetacea) und Leichen von Menschen haben gezeigt, dass diese nur aus maximalen Wassertiefen von bis zu 50 m wieder auftreiben können (REISDORF et al. 2012). Der Auftrieb wird hierbei durch Fäulnisgase, die aus dem Körper nicht entweichen können, erzeugt. Eine Wassertemperatur über 4 °C erhöht die Fäulnisrate und durch die Bildung von Fäulnisgasen verringert sich die Dichte des Kadavers (REISDORF et al. 2012). Da der hohe Disartikulationsgrad der meisten Hai- und Rochenskelett auf lange Driftzeiten hindeutet, muss davon ausgegangen werden, dass die Tiere in einem Flachwasserbereich mit einer Wassertiefe von maximal 50 m umgekommen sind. Haie (Selachii) und Rochen (Batoidea), welche im 200 m tiefen Rupelmeer umgekommen sind, hätten wahrscheinlich nach dem Absinken nicht wieder die Wasseroberfläche erreicht, um dann weiter in den Ablagerungsbereich zu driften (GRIMM 1994, REISDORF et al. 2012, BÖCKER & LITKE 2014). Da der Großteil der Knorpelfische disartikulierte und fragmentierte Überlieferungen wurde, ist es möglich, dass nicht nur im Bereich der Seegraswiesen die Wassertiefe höchstens 50 m betragen hat, sondern auch im Ablagerungsbereich selbst (vgl. Kap. 3.5., 4.1.4.). Darauf deuteten auch die Ergebnisse zu den endobenthischen marinen Wirbellosen in Kap. 4.2.4 hin.

Der Adlerrochen SMNK-PAL 2337, der höchstwahrscheinlich im Ablagerungsbereich umgekommen ist, hat keinen Auftrieb mehr erhalten und wurde dadurch nahezu vollständig überliefert (Kap. 3.5., vgl. Tafel 3 a). Möglich wäre hier die Einbettung in einem Weichschlickgrund. Tonsedimente, die reich an organischer Substanz sind, haben eine hohe Porosität, so dass in manchen Zeitintervallen die oberen Dezimeter des Sediments annähernd flüssig waren und die Kadaver zügig teilweise oder ganz im Sediment versanken (z. B. MARTILL 1993, REISDORF et al. 2012). Aber auch ein zu hoher hydrostatischer Druck am Meeresboden könnte ein Wiederauftreiben verhindert haben (REISDORF et al. 2012). Dies würde auch zu der Vermutung aus Kap. 3.5. passen, dass die relativen Veränderungen des Ablagerungsbereiches zur SWB möglicherweise durch Meeresspiegelschwankungen hervorgerufen wurden. Dadurch würde die Wassertiefe in periodischen Abschnitten mal mehr und mal weniger als 50 m betragen haben

und hätte so einen Einfluss auf die biostratigraphischen Prozesse (vgl. Kap. 5, 7).

Insgesamt sind aus dem Fischeschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ wesentlich weniger Knorpelfischarten bekannt als von anderen vergleichbaren Fundstellen (vgl. HOVESTADT et al. 2010). Oligozäne Haifaunen aus Zentral- und Westeuropa umfassen bis zu 33 Gattungen, im Fischeschiefer wurden aber bisher nur acht nachgewiesen (HOVESTADT et al. 2010; Tab. 12/Anhang). Haie (Selachii) suchten den Ablagerungsbereich also womöglich nur selten auf. Dies könnte neben den lebensfeindlichen Bedingungen am Meeresboden auch mit einem Mangel an verfügbarer Nahrung, wie z. B. Knochenfische (Teleostei), oder einer zu geringen Wassertiefe zusammenhängen (vgl. Kap. 4.5.5., 4.2.4.). Rochen (Batoidea), deren Lebensweise hauptsächlich bodenständig ist, konnten in dem Faulschlammmilieu des Fischeschiefers sicher nicht überleben (vgl. Kap. 3.5., Kap. 4.4.4.; WESTHEIDE & RIEGER 2009).

4.5. Knochenfische (Teleostei)

4.5.1. Taxonomischer Überblick

Die Knochenfische (Teleostei) sind die bisher am umfangreichsten bearbeitete taxonomische Gruppe aus dem Fischeschiefer (z. B. MICKLICH & PARIN 1996, SAKAMOTO et al. 2003a, b, MICKLICH et al. 2016). Zuletzt wurde von MAXWELL et al. (2016) eine Faunenliste vorgelegt (Tab. 15/Anhang).

Der Großteil der bestimmbar Exemplare (70,74 %) wurden den Taxa aus dieser Faunenliste zugeordnet (MAXWELL et al. 2016; vgl. Kap. 4.5.2.). Mehrere Autoren haben jedoch schon in der Vergangenheit darauf hingewiesen, dass trotz der ständigen Bearbeitung des Materials immer noch sogenannte „Papierkorb-Taxa“ existieren, die mehr als eine nominale Gattung oder Art enthalten (z. B. MICKLICH 1998, 2005, MAXWELL et al. 2016). Die ausstehenden taxonomischen Korrekturen waren in der vorliegenden Arbeit nicht durchführbar und einige dieser Unklarheiten werden im Folgenden diskutiert.

Für Heringe (Clupeidae) werden in der Literatur die Art „*Sardinella*“ *sardinites* HECKEL 1850 und die beiden Morphotypen Clupeidae indet. sp. a und b unterschieden (MAXWELL et al. 2016). Clupeidae indet. sp. b unterscheidet sich von Clupeidae indet. sp. a durch ein skulptiertes Schädeldach (MAXWELL et al. 2016). In den bearbeiteten Sammlungen sind 69 von 4.367 Exemplaren der Heringe (Clupeidae) als „*Sardinella*“ *sardinites* HECKEL 1850 bestimmt (vgl. Kap. 4.5.2.). Die übrigen werden als Clupeidae indet. geführt. Über die Häufigkeitsverteilung zwischen den beiden Morphotypen a und b ist nichts bekannt. Aufgrund der schlechten Erhaltung ist eine Unterscheidung meist auch nicht möglich (mündl. Mitt. N. Micklich 2014). Daher wird in

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

der vorliegenden Arbeit nur das Taxon Clupeidae indet. verwendet (vgl. Tab. 15/Anhang).

Die Taxa *Palaeorhynchus* cf. *P. zitteli* KRAMBERGER 1879 (Palaeorhynchidae), *Nerophis* sp. (Syngnathidae, Seenadeln), *Abadzekhia* cf. *A. tarletskovi* BANNIKOV 2005 und cf. *Thyrstitoides* sp. (Gempylidae, Schlangenmakrelen) werden für den Fischschiefer in der Literatur erstmals bei MAXWELL et al. (2016) ohne Verweis auf Sammlungsexemplare in der Faunenliste erwähnt. Daher konnte keines der bearbeiteten Exemplare diesen neuen Taxa zugeordnet werden (Tab. 15/Anhang). Für die Schnepfenmesserfischgattung *Aeoliscus* (Centriscidae) werden im Fischschiefer die beiden Arten *A. heinrichi* HECKEL 1850 und *A. distinctus* PARIN & MICKLICH 1996 unterschieden (MAXWELL et al. 2016). In den Sammlungen sind von 2.324 Exemplaren neun als *A. distinctus* PARIN & MICKLICH 1996 und 50 als *A. heinrichi* HECKEL 1850 bestimmt (vgl. Kap. 4.5.2.). Die übrigen werden als *Aeoliscus* sp. bezeichnet. Eine Unterscheidung zwischen den beiden Arten ist nur bei besonders guter Erhaltung und durch eine zügige Präparation direkt nach der Bergung möglich (mündl. Mitt. N. Micklich 2014). Daher verbleibt der Großteil in dem Taxon *Aeoliscus* sp. (vgl. Kap. 4.5.2.).

Drei Exemplare in den Sammlungen des SMNK und SMNS (SMNK-PAL 5974, 5699, SMNS 30251/2005 – 80738/155) sind der Gattung *Palimphytes* sp. (Euzaphlegidae) zugeordnet (vgl. Kap. 6.1.). Diese Gattung fehlt in der aktuellen Faunenliste von MAXWELL et al. (2016). Die Nomenklatur wurde für die drei Sammlungsexemplare aber aufgrund fehlender Neubestimmungen beibehalten (vgl. Tab. 15/Anhang).

MAXWELL et al. (2016) unterscheiden innerhalb der Schlangenmakrelen (Gempylidae) zwischen den beiden nicht näher bestimmten Taxa Gempylidae indet. aff. *Diplospinus* und Gempylidae indet. aff. *Neoepinnula*. Diese Unterscheidung war im Zuge der vorliegenden Arbeit nicht möglich und die Exemplare wurden als nicht näher bestimmte Schlangenmakrelen (Gempylidae indet.) eingeordnet (Tab. 15/Anhang).

Zehn Exemplare von Haarschwänzen (Trichiuridae) in den Sammlungen des SMNK und HLMD sind als *Eutrichiurides delheidi* LERICHE 1910 bestimmt (PHARISAT & MICKLICH 1998; vgl. Kap. 6.1.). Jeweils ein Exemplar in der Sammlung des SMF (SMF-P 9778) und des HLMD (HLMD-WT 32) wurden nach MICKLICH & PARIN (1996) als *Archaehippus* sp. (Ephippidae, Spatenfische) bestimmt (vgl. Kap. 6.1.). Diese beiden Taxa fehlen wiederum in der Faunenliste von MAXWELL et al. (2016). Die Nomenklatur wurde für diese Exemplare ebenfalls wegen fehlender Neubestimmung beibehalten (Tab. 15/Anhang).

4.5.2. Häufigkeit und Diversität

13.685 Knochenfische (Teleostei) verteilen sich auf 4.180 nicht näher bestimmte Exemplare (Teleostei indet., 29,3 %), drei Tarpunartige (Elopiiformes, 0,02 %), einen Aalartigen (Anguiliiformes, 0,01 %), 4.367 Heringsartige (Clupeiformes, 30,6 %), vier Glanzfischartige (Lampriformes, 0,03 %) 51 Dorschartige (Gadiiformes, 0,4 %), 363 Barschverwandte unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed., 2,7 %), einen Eingeweidefischartigen (Ophidiiformes, 0,01 %), 2.850 Seenadelartige (Syngnathiiformes, 20 %), 814 Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes, 6,7 %), 130 Stachelmakrelenartige (Carangiiformes, 1 %), 34 Plattfischartige (Pleuronectiiformes, 0,2 %), 69 Hornhechtartige (Beloniiformes, 0,5 %), einen Spatenfischartigen (Ephippiiformes, 0,01 %), 13 Meerbrassenartige (Spariiformes, 0,1 %), fünf Falterfischartige (Chaetodontiiformes, 0,04 %), zwei Armflosserartige (Lophiiformes, 0,02 %), sechs Sonnenbarschartige (Centrarchiiformes, 0,04 %) und 824 Barschartige (Perciiformes, 5,7 %, Diag. 16, 17 a, Tab. 16/Anhang).

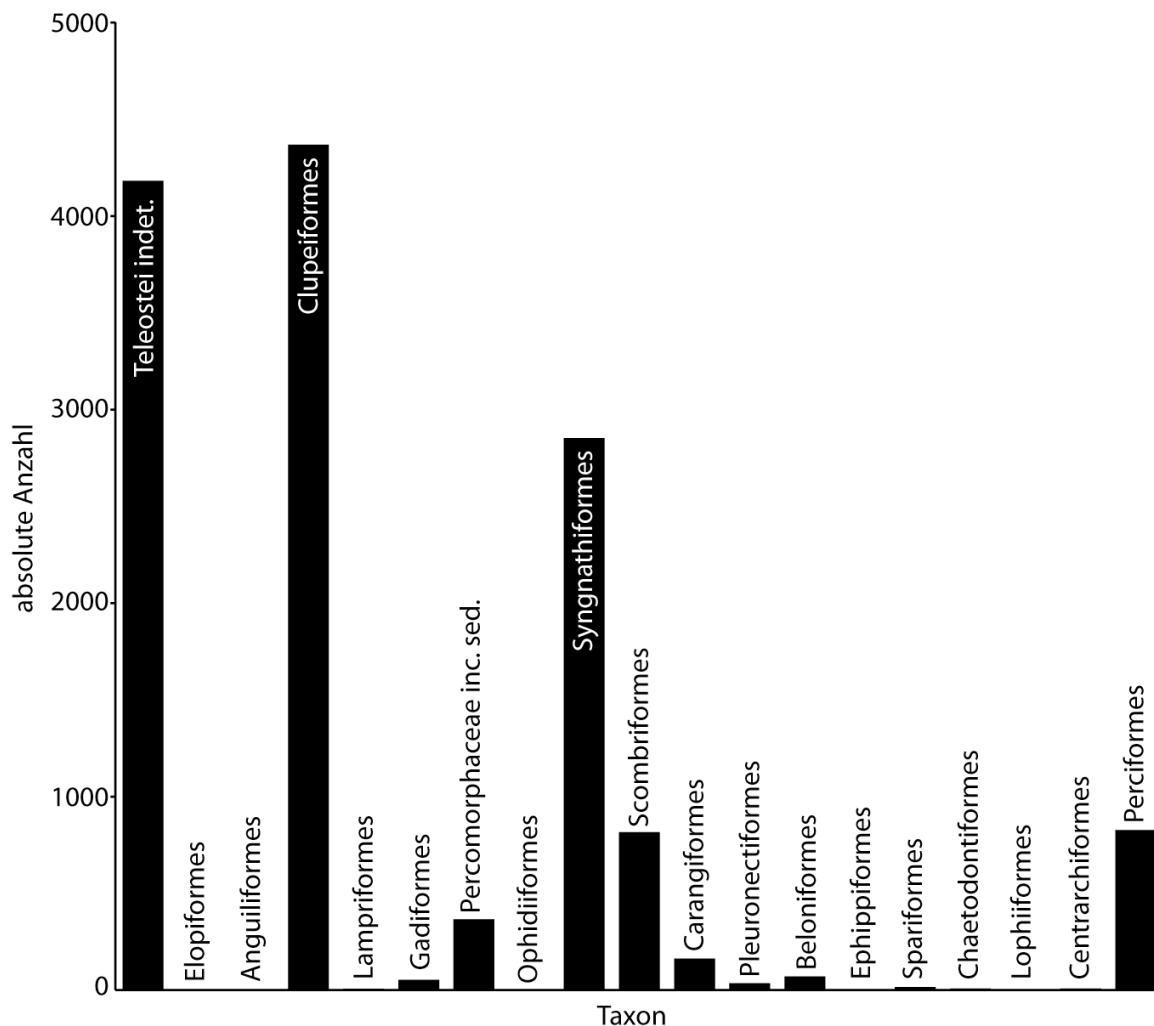


Diagramm 16: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Knochenfische (Teleostei).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Tarpunartige (Elopiformes): Drei Exemplare der Frauenfische sind nicht näher bestimmt (Elopidae indet.; Tab. 16/Anhang).

Aalartige (Anguilliformes): Ein Exemplar der Wurmaale (Moringuidae) wurde der Art *Deutschenchelys micklichi* PROKOFIEV 2012 zugeordnet (Tab. 16/Anhang).

Heringsartige (Clupeiformes): In den Sammlungen sind 69 Exemplare der Heringe (Clupeidae) als „*Sardinella*“ *sardinites* HECKEL 1850 bestimmt (0,5 %). Die übrigen 4.367 Exemplare wurden als Clupeidae indet. (30,1 %) eingeordnet (Diagr. 17, Tab. 16/Anhang, vgl. Kap. 4.5.1.).

Barschverwandte unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed.): 81 Exemplare sind nicht näher bestimmt (Percomorphaceae inc. sed. indet., 22,3 %). 50 Exemplare stammen von Palaeorhynchidae (13,8 %), die sich auf 20 Exemplare der Gattung *Palaeorhynchus* sp. (5,5 %) und 30 Exemplare der Art *Palaeorhynchus* cf. *P. glarisianus* BLAINVILLE 1818 (8,3 %) verteilen (Diagr. 17 b, Tab. 16/Anhang).

31 Exemplare stammen von Eberfischen (Caproidae, 8,5 %). Hiervon ist eines nicht näher bestimmt (Caproidae indet., 0,3 %). 22 Exemplare wurden als *Capros* sp. (6,1 %), sieben Exemplare als *Capros caprosoides* COSMOVICI 1887 (1,9 %) und eines als *Proantigonia* sp. (0,3 %) eingeordnet (Diagr. 17, Tab. 16/Anhang).

201 Exemplare von Großaugenbarschen (Priacanthidae, 55,4 %) verteilen sich auf vier nicht näher bestimmte Exemplare (Priacanthidae indet., 1,1 %), 29 von *Priacanthus* sp. (8 %) und 168 von *Priacanthus spinosus* BLAINVILLE 1818 (46,3 %; Diagr. 17, Tab. 16/Anhang).

Seenadelartige (Syngnathiformes): 38 Exemplare sind nicht näher bestimmt (Syngnathiformes indet., 1,3 %).

107 Exemplare stammen von Trompetenfischen (Aulostomidae, 3,8 %), welche sich auf 25 nicht näher bestimmte Exemplare (Aulostomidae indet., 0,9 %), eines von *Aulostomus* sp. (0,04 %), 50 von *Aulostomus medius* WEILER 1920 (1,8 %), sechs von *Frauenweilerstomus* sp. (0,2 %) und 25 von *Frauenweilerstomus synarcualis* PARIN & MICKLICH 1996 (0,9 %) verteilen (Diagr. 17 c, Tab. 16/Anhang).

2.324 Schnepfenfische (Centriscidae, 81,5 %) verteilen sich auf 2265 Exemplare des Schnepfenmesserfisches *Aeoliscus* sp. (79,5 %), 50 Exemplare von *Aeoliscus heinrichi* HECKEL 1850 (1,8 %) und neun Exemplare von *Aeoliscus distinctus* MICKLICH & PARIN 1996 (0,3 %; Diagr. 17 c, Tab. 16/Anhang, vgl. Kap. 4.5.1.).

375 Exemplare stammen von Seenadeln (Syngnathidae, 13,2 %). Hierbei ist der Großteil mit 253 Exemplaren nicht näher bestimmt (Syngnathidae indet., 8,9 %). 94 Exemplare wurden als *Syngnathus* sp. (3,3 %), drei als *Syngnathus* cf. *S. incompletus* COSMOVICI 1886 (0,1 %), 23 als

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Doryrhamphus (0,8 %) und zwei als *Microphis* (0,1 %) eingeordnet (Diagr. 17 c, Tab. 16/Anhang). Sechs Exemplare von Urosphenidae (0,2 %) verteilen sich auf zwei nicht näher bestimmte Exemplare (Urosphenidae indet., 0,1 %) und vier Exemplare von *Oligosphenopsis* cf. *O. gracilis* PARIN 1992 (0,1 %; Diagr. 17 c, Tab. 16/Anhang).

Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes): 216 Exemplare sind nicht näher bestimmt (26,5 %; Diagr. 17 d, Tab. 16/Anhang).

Vier Exemplare der Euzaphlegidae wurden der Gattung *Palimphytes* sp. zugeordnet (0,5 %; vgl. Kap. 4.5.1.).

Ein Exemplar stammt von der Art *Musculopenduculus micklichi* PARIN & ASTAKHOV 2007 (Musculopendunculidae, 0,1 %; Diagr. 17 d, Tab. 16/Anhang).

128 Schlangenmakrelen (Gempylidae, 15,7 %) verteilen sich auf 42 nicht näher bestimmbare Exemplare (Gempylidae indet., 5,2 %), neun von *Abadzekhia* sp. (1,1 %), vier von *Abadzekhia* cf. *A. marinae* BANNIKOV 1985 (0,5 %) und 73 von *Propercarina* sp. (9 %; Diagr. 17 d, Tab. 16/Anhang).

110 Exemplare wurden als Haarschwänze (Trichiuridae) identifiziert (13,5 %). Hierbei sind 66 Exemplare nicht näher bestimmt (Trichiuridae indet., 8,1 %), zwölf stammen von *Lepidopus* sp. (1,5 %), 19 von *Anenchelum* sp. (2,3 %) und 13 von *Eutrichiurides delheidi* LERICHE 1910 (1,6 %; Diagr. 17 d, Tab. 16/Anhang, vgl. Kap. 4.5.1.).

285 Makrelen und Thunfische (Scombridae, 35 %) verteilen sich auf 156 nicht näher bestimmte Exemplare (19,2 %), zwölf von *Auxides* sp. (1,5 %), zwölf von *Scomber* sp. (1,5 %), 16 von *Scomberomorus* sp. (2 %), drei von *Scomberomorus lingulatus* von Meyer 1846 (0,4 %), 81 von *Sarda brachycephala* LERICHE 1908 (10 %), drei von *Neocybium* sp. (0,4 %) und eines von cf. *Sphyraenodus* sp. (0,1 %; Diagr. 17 d, Tab. 16/Anhang).

74 Exemplare stammen von Medusenfischen (Stromateidae, 9,1 %). Davon sind vier Exemplare nicht näher bestimmt (Stromateidae indet., 0,5 %). 29 wurden als *Pinichthyes* sp. (3,6 %), 38 als *Pinichthyes pulcher* BANNIKOV 1985 (4,7 %) und drei Exemplare als *Rybapina* cf. *R. caucasica* BANNIKOV 1993 (0,4 %) eingeordnet (Diagr. 17 d, Tab. 16/Anhang).

Stachelmakrelenartige (Carangiformes): Drei Exemplare sind nicht näher bestimmt (2,3 %). Zwei Exemplare stammen von dem Barrakuda cf. *Sphyraena* sp. (Sphyraenidae, 1,5 %).

Sechs der 122 Stachelmakrelen (Carangidae, 93,8 %) sind nicht näher bestimmt (Carangidae indet., 4,6 %). Die übrigen verteilen sich auf 55 Exemplare von *Archaeus* sp. (42,3 %), 55 von *Archaeus glarisianus* AGASSIZ 1834 (42,3 %) und sechs von *Seriola multiradiata* WEILER 1920 (4,6 %; Tab. 16/Anhang).

Drei Exemplare von Schiffshaltern (Echeneidae, 2,3 %) wurden der Art *Oligoremora rhenana* MICKLICH et al. 2016 zugeordnet (Tab. 16/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Plattfischartige (Pleuronectiformes): 18 Exemplare sind nicht näher bestimmt (Pleuronectiformes indet., 52,9 %).

Vier Steinbutte (Scophthalmidae) verteilen sich auf drei Exemplare von *Oligoscoptalmus weissi* SAKAMOTO et al. 2003 (8,8 %) und ein Exemplar von *Scophthalmus* sp. (3 %).

Innerhalb der Schollen (Pleuronectidae) ist die Art *Oligopleuronectes germanicus* SAKAMOTO et al. 2004 mit zwei Exemplaren bekannt (5,9 %; Tab. 16/Anhang).

Hornhechtartige (Beloniformes): Sechs Exemplare sind nicht näher bestimmt (Beloniformes indet., 8,7 %).

Die Halbschnäbler (Hemiramphidae) verteilen sich auf ein nicht näher bestimmtes Exemplar (1,4 %) und 62 von *Hemiramphus* sp. (89,9 %; Tab. 16/Anhang).

Spatenfischartige (Ephippiformes): Ein Exemplar stammt von dem Spatenfisch *Archaehippus* sp. (Ephippidae; Tab. 16/Anhang, vgl. Kap. 4.5.1.).

Meerbrassenartige (Spariformes): Ein Exemplar ist nicht näher bestimmt (Spariformes indet., 7,7 %). Neben sechs nicht näher bestimmten Meerbrassen (Sparidae indet., 46,2 %), wurden sechs weitere Exemplare der Art *Sparus* cf. *S. schoppii* WITTICH 1900 (46,2 %) zugeordnet (Tab. 16/Anhang).

Falterfischartige (Chaetodontiformes): Vier Exemplare stammen von nicht näher bestimmten Falterfischen (Chaetodontidae indet., 80 %) und eines von dem Ponyfisch *Leiognathoides* cf. *L. altapinna* WEILER 1955 (Leiognathidae, 20 %; Tab. 16/Anhang).

Armflösserartige (Lophiiformes): Zwei Exemplare wurden bisher nicht näher bestimmt und sind lediglich als Seeteufel (Lophiidae indet.) eingeordnet (Tab. 16/Anhang).

Sonnenbarschartige (Centrarchiformes): Sechs Exemplare sind bekannt und stammen von dem Steuerbarsch cf. *Microcanthus* sp. (Cyprinodontidae; Tab. 16/Anhang).

Barschartige (Perciformes): 306 Exemplare sind nicht näher bestimmt (37,1 %).

477 Exemplare wurden den Sägebarschen (Serranidae, 57,9 %) zugeordnet, darunter 288 nicht näher bestimmte Exemplare (Serranidae indet., 35 %), drei Exemplare von *Reproca* sp. (0,4 %), zwei von *Reproca sabbai* PAUCA 1929 (0,2 %), 42 von *Oliganodon* sp. (5,1 %) und 142 von *Oliganodon budensis* HECKEL 1856 (17,3 %; Diagn. 17 e, Tab. 16/Anhang).

Neun Exemplare stammen von Petermännchen (Trachinidae, 1,1 %). Hierbei ist ein Exemplar nicht näher bestimmt (Trachinidae indet., 0,1%) und die übrigen acht wurden der Gattung *Trachinus* sp. (1,0 %) zugeordnet (Diagn. 17 e, Tab. 16/Anhang).

Zwölf Exemplare stammen von nicht näher bestimmten Skorpionfischen (Scorpaenidae, 1,5 %).

Sechs Exemplare belegen den Stachelkopf cf. *Sebastes* sp. (Sebastidae, 0,7 %).

Zehn Exemplare von Knurrhähnen sind nicht näher bestimmt (Triglidae indet.; 1,2 %, Diagn. 17 e,

Tab. 16/Anhang).

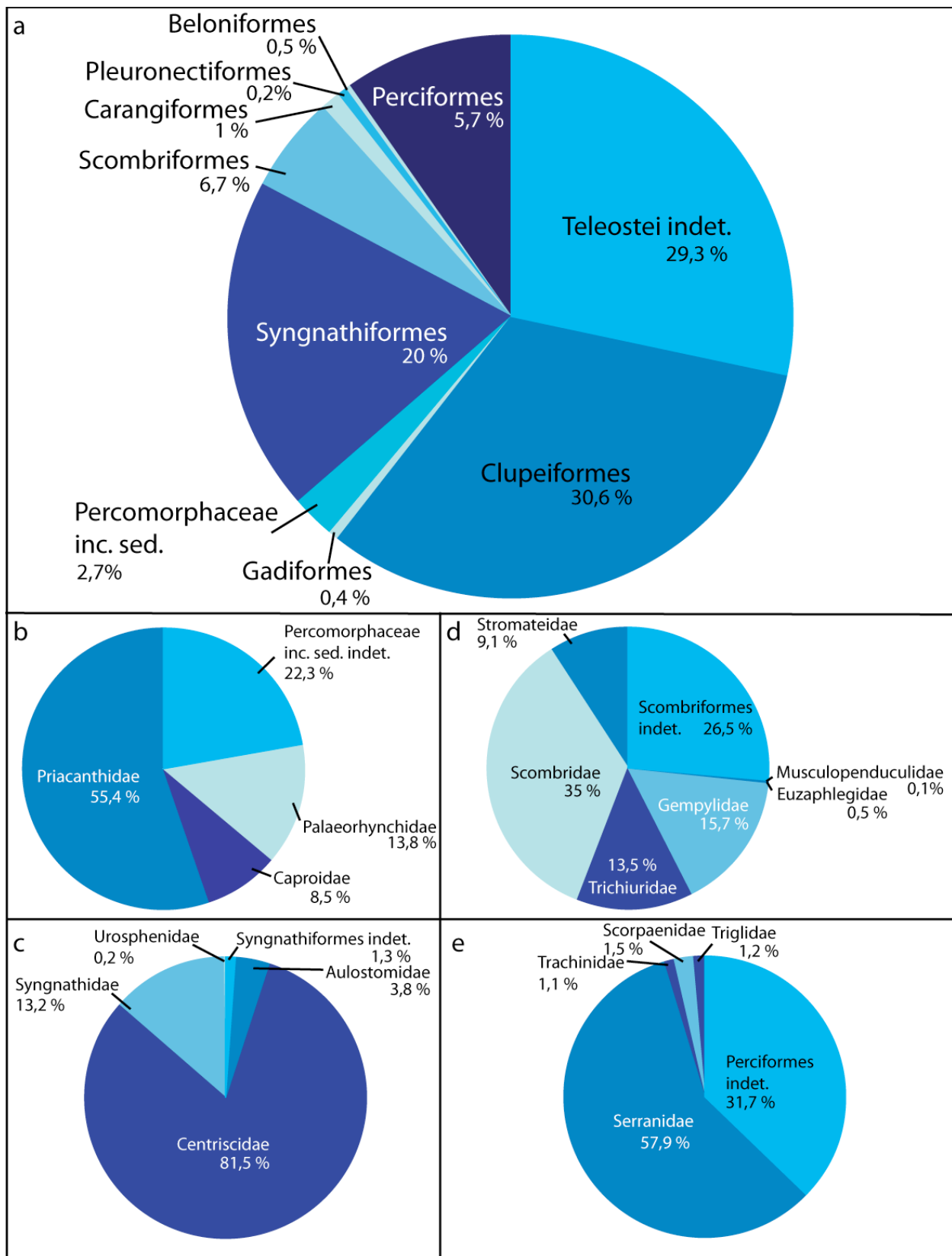


Diagramm 17: Relative Häufigkeitsverteilung a. aller Knochenfischordnungen, b. der Barschverwandte unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed.), c. der Seenadelartigen (Syngnathiformes), d. der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) und e. der Barschartigen (Perciformes).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

4.5.3. Häufigkeit und Diversität der Jungfische

In dem hier bearbeiteten Material sind Jungfische häufig und divers. Insgesamt 650 juvenile Exemplare verteilen sich auf 38 unbestimmte Knochenfische (Teleostei indet. 5,8 %), 296 Heringsartige (Clupeiformes, 45,5 %), zwei Dorschartige (Gadiformes, 0,31 %), zehn Barschverwandte unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed., 1,53 %), 117 Seenadelartige (Syngnathiformes, 18,0 %), 66 Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes, 10,2 %), drei Stachelmakrelenartige (Carangiformes 0,5 %), drei Hornhechtartige (Beloniformes, 0,5 %), zwei Falterfischartige (Chaetodontiformes, 0,3 %) und 113 Barschartige (Perciformes, 17,4 %; Diagr. 18, Tab. 17/Anhang).

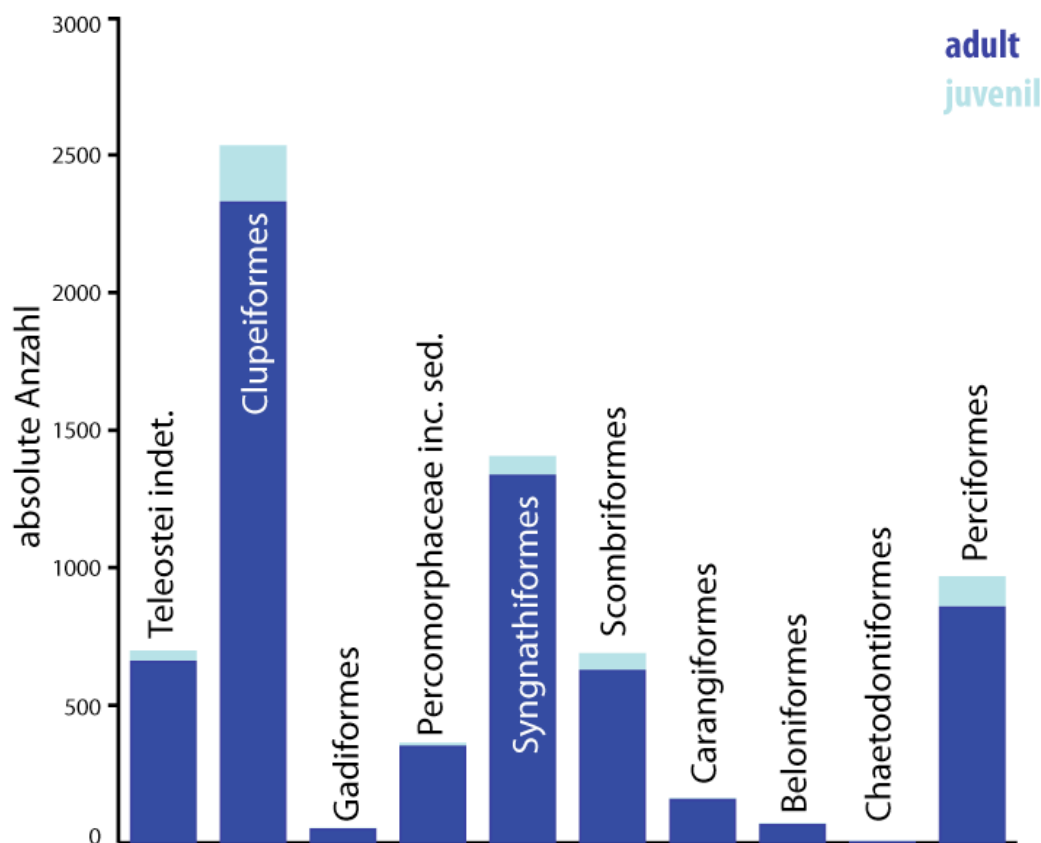


Diagramm 18: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Jungfische.

Bei den nicht näher bestimmten Schlangemakrelen (Gempylidae indet.) ist die Abundanz der Jungfische mit 69,1 % am höchsten und beim Sägebarsch *Oliganodon budensis* HECKEL 1856 mit 0,7 % am niedrigsten. Außerdem sind Jungfische bei den nicht näher bestimmten Seenadelartigen (Syngnathiformes indet., 68,2 %) und Falterfischen (Chaetodontidae indet., 40,0 %) sowie bei der Makrele *Scomberomorus* sp. (56,3 %) besonders häufig. Die Diversität ist innerhalb der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) mit zehn Taxa am höchsten (Tab. 17/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Insgesamt stammen die meisten Jungfische von Heringsartigen (Clupeiformes, 45,6 %). Am zweithäufigsten sind jene von Seenadelartigen (Syngnathiformes, 18 %) und Barschartigen (Perciformes, 17,4 %; Diagr. 19)

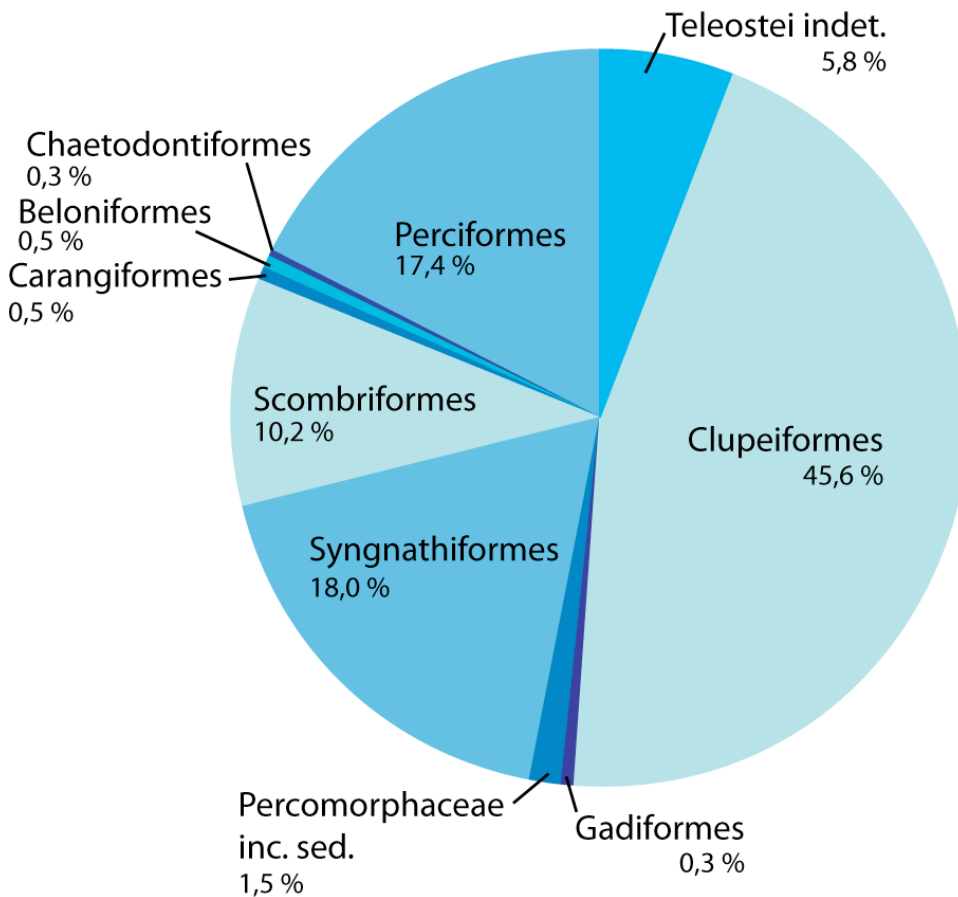


Diagramm 19: Relative Häufigkeitsverteilung der Jungfische.

4.5.4. Zerfallsstufen

Insgesamt 18.433 taphonomisch untersuchte Knochenfische (Teleostei) verteilen sich auf 446 vollständige Ganzkörper (Zerfallsstufe 1 und 2), 4.862 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4), 1.365 isolierte Körperteile (Zerfallsstufen 5 bis 8) und 11.847 Einzelelemente (Zerfallsstufe 10; Diagr. 20, vgl. Tab. 4/Kap. 2.2.6.).

63,9 % der Überreste entfallen auf isolierte Schuppen und Zähne (Zerfallsstufe 10). 28,6 % der Knochenfisch-Reste sind Ganzkörper (5.308 Exemplare, Zerfallsstufen 1 bis 4). Davon sind wiederum 359 Exemplare artikuliert, 87 disartikuliert, 1.058 fragmentiert sowie 3.824 fragmentiert und disartikuliert. 7,2 % sind isolierte Körperteile (1.365 Exemplare, Zerfallsstufen 5 bis 8). Es handelt sich hierbei um Schädel, Flossen sowie Wirbelsäulen. Davon sind 119 Exemplare artikuliert, 499 artikuliert aber fragmentiert, 398 disartikuliert und 349 disartikuliert und fragmentiert.

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

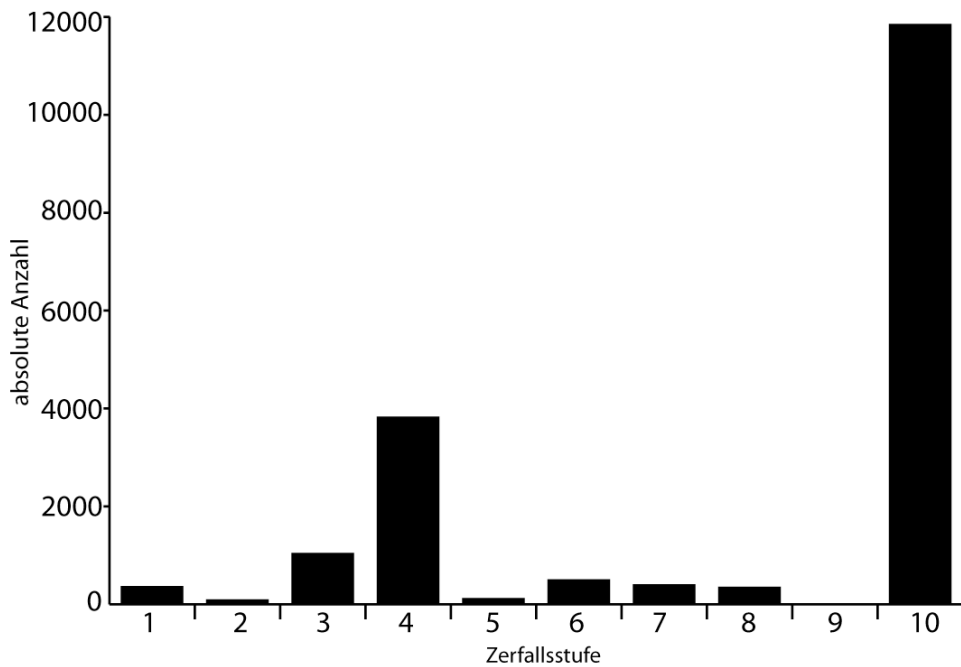
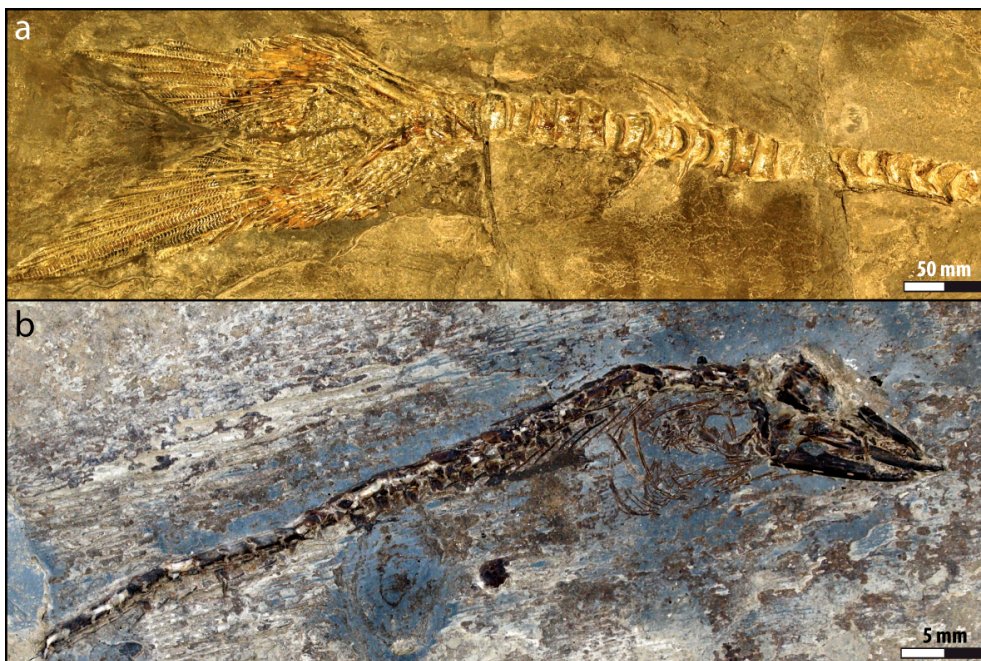


Diagramm 20: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Knochenfische (Teleostei).

Tarpunartige (Elopiformes): Die drei Exemplare verteilen sich auf zwei Ganzkörper ohne Schädel der Zerfallsstufe 3 und ein Exemplar der Zerfallsstufe 8 (Tafel 11 a, Tab. 18/Anhang).

Aalartige (Anguilliformes): Bei dem einen Exemplar handelt es sich um einen Ganzkörper der Zerfallsstufe 3 (Tafel 11 b, Tab. 19/Anhang).



Tafel 11: Beispiele für Zerfallsstufen: a. Tarpunartige (Elopiformes): Elopidae indet., Zerfallsstufe 8, Wirbelsäule und Caudale (SMNS ohne Sammlungsnummer); **b. Aalartige (Anguilliformes):** *Deutsenchelys micklichi* PROKOFIEV 2012, Zerfallsstufe 3 (HLMD-WT 35).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Heringsartige (*Clupeiformes*): Insgesamt 14.530 untersuchte Exemplare verteilen sich auf 25 vollständige Ganzkörper (Zerfallsstufen 1 und 2), 2.336 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4), 588 isolierte Körperteile (Zerfallsstufen 5 bis 8) und 11.581 Rundschuppen (Zerfallsstufe 10, Tab. 20/Anhang). 16,5 % der überlieferten Heringsreste sind Ganzkörper, die sich auf 0,2 % vollständige und 16,3 % fragmentierte Exemplare verteilen (Diagr. 21). 4,1 % der Heringsartigen (*Clupeiformes*) sind durch isolierte Körperteile, wie z. B. Flossen, Wirbelsäulen oder Schädel, überliefert. Der Großteil davon ist disartikuliert (vgl. Tafel 4 a, f, Tafel 12 a).

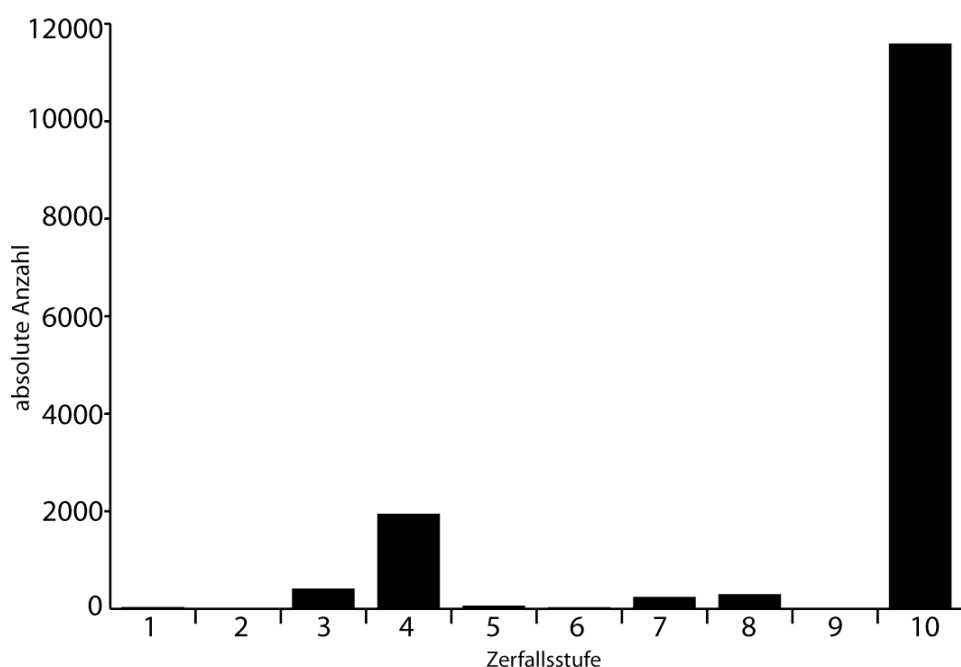


Diagramm 21: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Heringsartigen (*Clupeiformes*).

Dorschartige (*Gadiformes*): Bei 40 von 50 taphonomisch ausgewerteten Exemplaren handelt es sich um Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 (Tafel 12 b). Zusätzlich liegen neun Ganzkörper der Zerfallsstufe 3 und ein Schädel der Zerfallsstufe 6 vor (Diagr. 22, Tab. 21/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

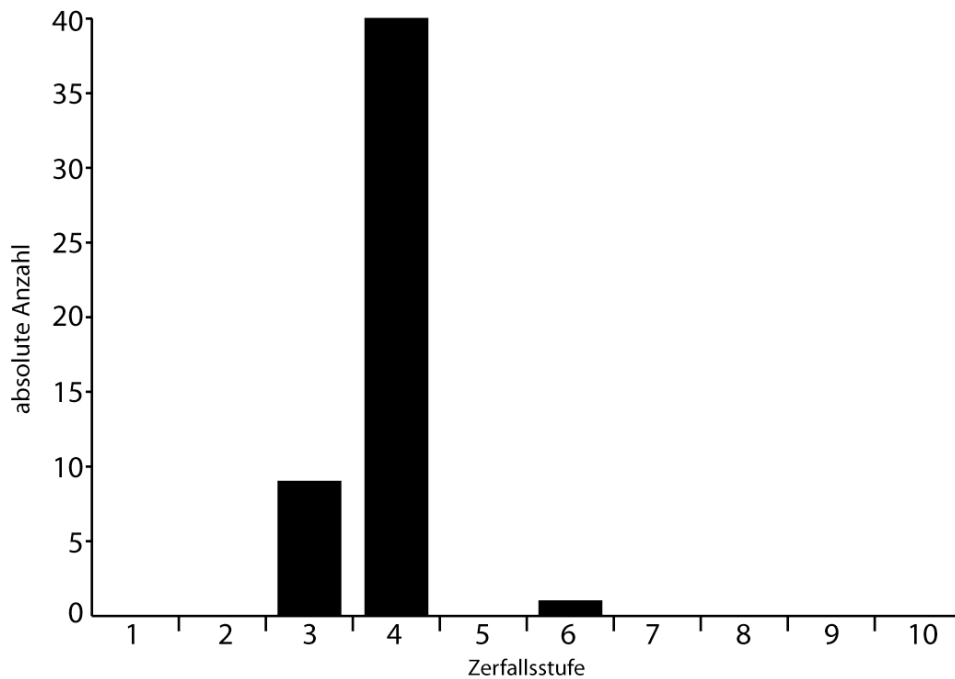
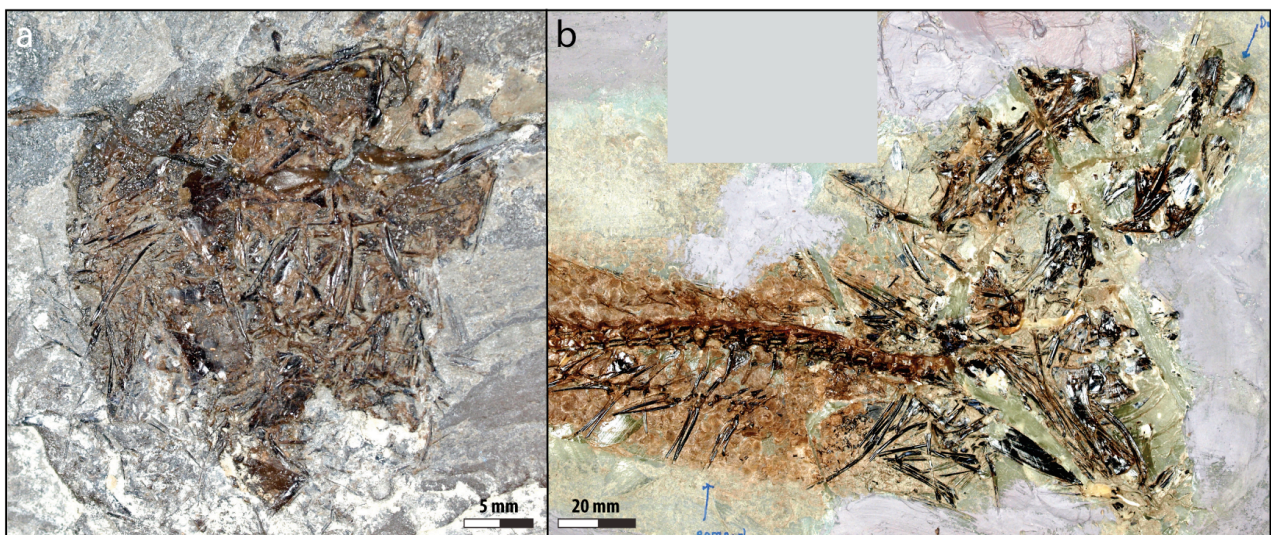


Diagramm 22: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Dorschartigen (Gadiformes).



Tafel 12: Beispiele für Zerfallsstufen: a. Heringsartige (Clupeiformes): Clupeidae indet., Zerfallsstufe 8, Schädel (HLMD-WT 369); b. Dorschartige (Gadiformes): *Palaeogadus* sp., Zerfallsstufe 4 (HLMD WT 311).

Barschverwandte unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae incertae sedis):

353 ausgewertete Exemplare verteilen sich auf 39 vollständige Ganzkörper (Zerfallsstufen 1 und 2), 269 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4), drei Schädel (Zerfallsstufen 6 und 8) und 42 fragmentierte Schuppen (Zerfallsstufe 10; Diagr. 23, Tab. 22/Anhang). Bei 87,3 % aller überlieferten Exemplare handelt es sich um Ganzkörper (Zerfallsstufen 1 bis 4, Tafel 13).

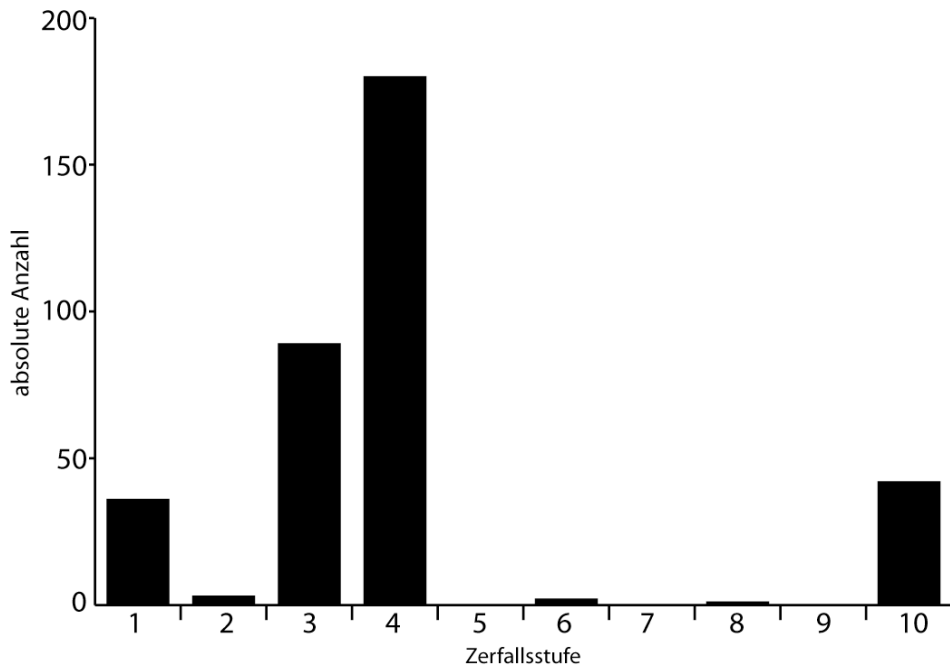
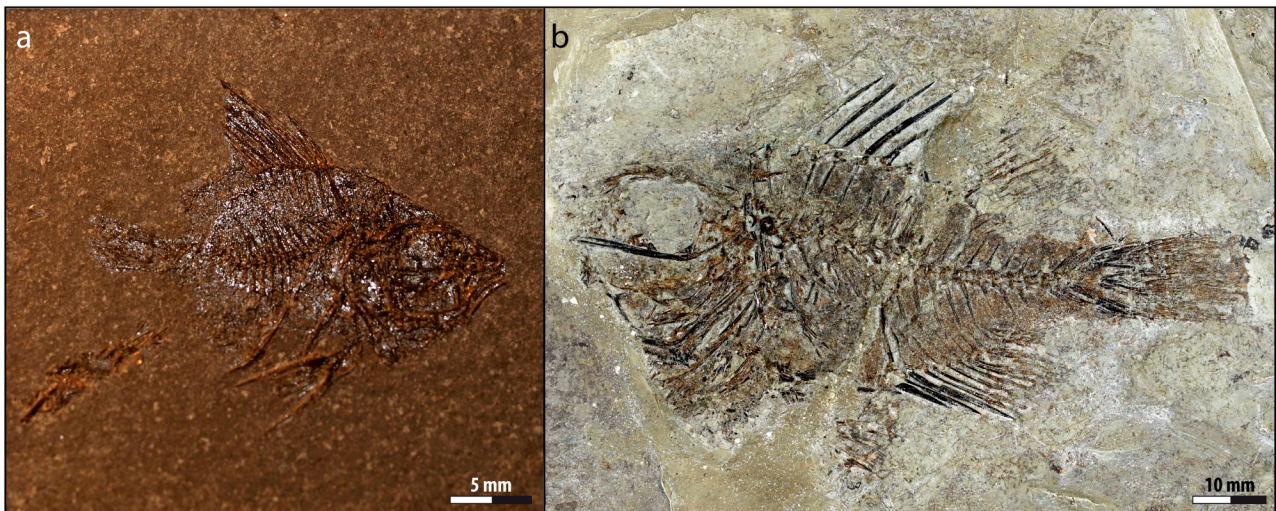


Diagramm 23: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Barschverwandten unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed.).



Tafel 13: Beispiele für die Zerfallsstufen der Barschverwandten unsicherer taxonomischer Stellung (Percomorphaceae inc. sed.): a. *Capros* sp., Zerfallsstufe 1 (SMNS 37395/2014, Inv. Nr. 96861/59), b. *Priacanthus spinosus* BLAINVILLE 1818, Zerfallsstufe 3 (HLMD-WT 123).

Seenadelartige (Syngnathiformes): Insgesamt wurden 2.215 Exemplare taphonomisch untersucht, die sich auf 260 vollständige Ganzkörper (Zerfallsstufen 1 und 2), 1.210 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4), 626 isolierte Körperteile (Zerfallsstufen 5 bis 8) und 119 Einzelelemente (Zerfallsstufe 10) verteilen (Diagr. 24, Tab. 23/Anhang). Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 machen ca. 44 % aller Seenadelartigen-Überreste aus. Daneben sind Schädel-Knochenpanzer-Verbünde der Schnepfenmesserfisch-Gattung *Aeoliscus* (Centriscidae) mit 19,8 % häufig. Diese liegen in den Zerfallsstufen 5 bis 8 vor, fast 60 % davon in der Zerfallsstufe 6 (Tafel 14).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

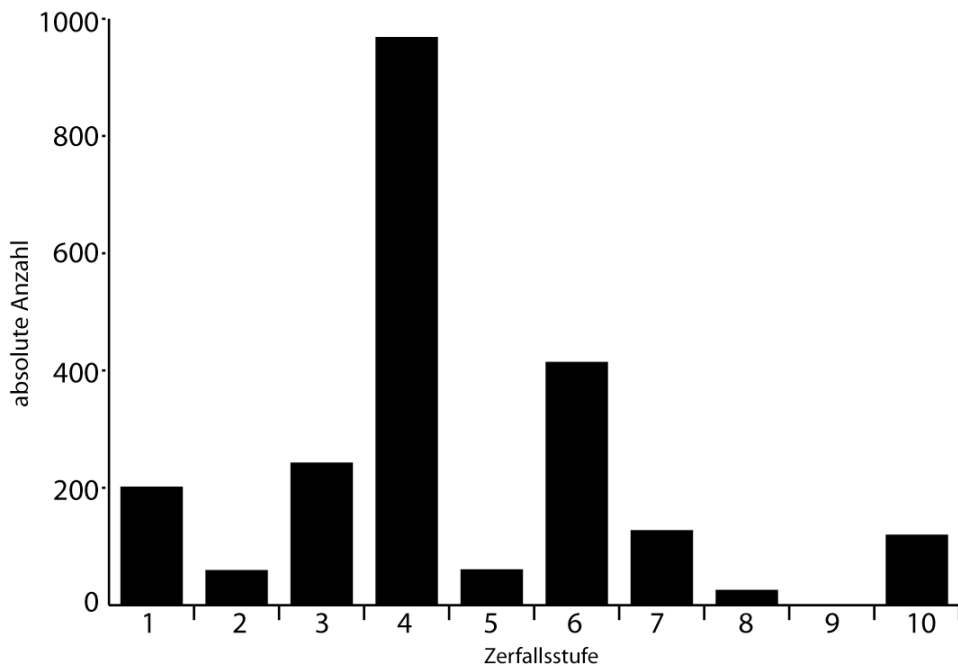
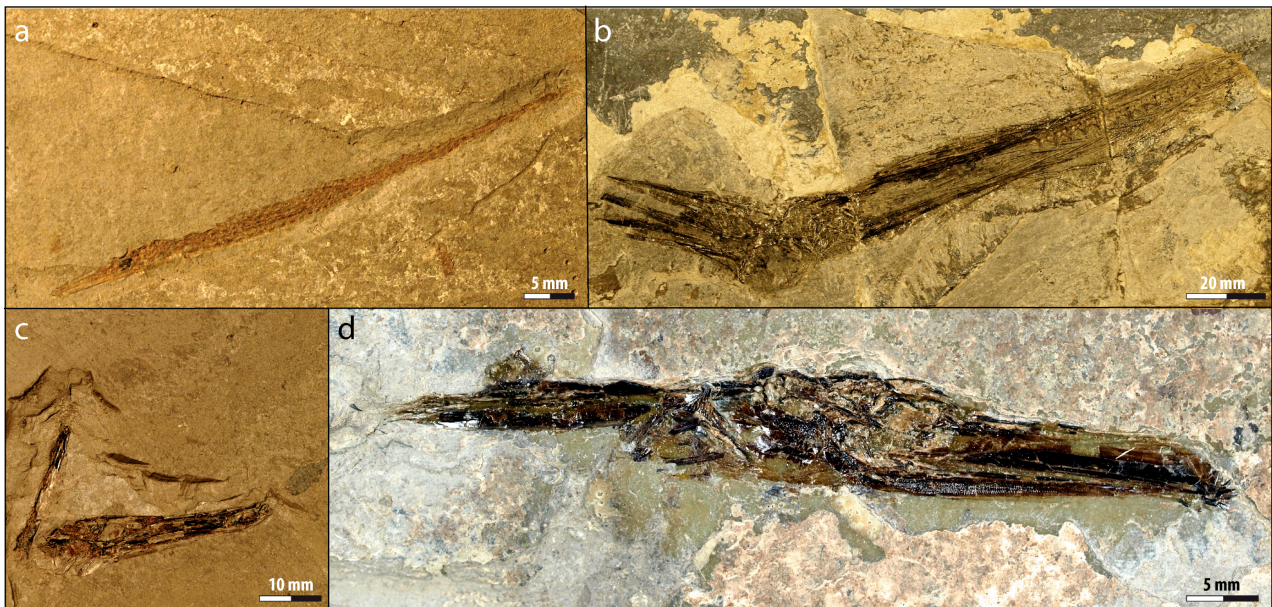


Diagramm 24: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Seenadelartigen (Syngnathiformes).



Tafel 14: Beispiele für Zerfallsstufen der Seenadelartigen (Syngnathiformes): a. *Syngnathus* sp., Zerfallsstufe 1, (SMNS 31034/2005, Inv.Nr. 87457/224), b. *Frauenweilerstomus synarcualis* PARIN & MICKLICH 1996, Zerfallsstufe 4 (SMNS 30719/2005, Inv.Nr. 87457/68), c. *Aeoliscus* sp., Zerfallsstufe 7, Schädel und Knochenpanzer (SMNS 30851/2005, Inv.Nr. 87457/127), d. *Oligosphenopsis* cf. *O. gracilis*, Zerfallsstufe 8, Schädel (HLMD-WT 913).

Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes): Insgesamt 779 untersuchte Exemplare verteilen sich auf 71 vollständige Ganzkörper (Zerfallsstufen 1 und 2), 525 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4), 150 isolierte Körperteile (Zerfallsstufen 5 bis 8) und 80 fragmentierte Einzelemente (Zerfallsstufe 10; Tafel 15).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Insgesamt überwiegt die Zerfallsstufe 4 mit einem Anteil von 65,5 % signifikant gegenüber den übrigen Zerfallsstufen. Isolierte, fragmentierte Zähne (Zerfallsstufe 10) sind häufiger als bei anderen Knochenfisch-Taxa (Diagr. 25, Tab. 34/Anhang, vgl. Tafel 4 g).

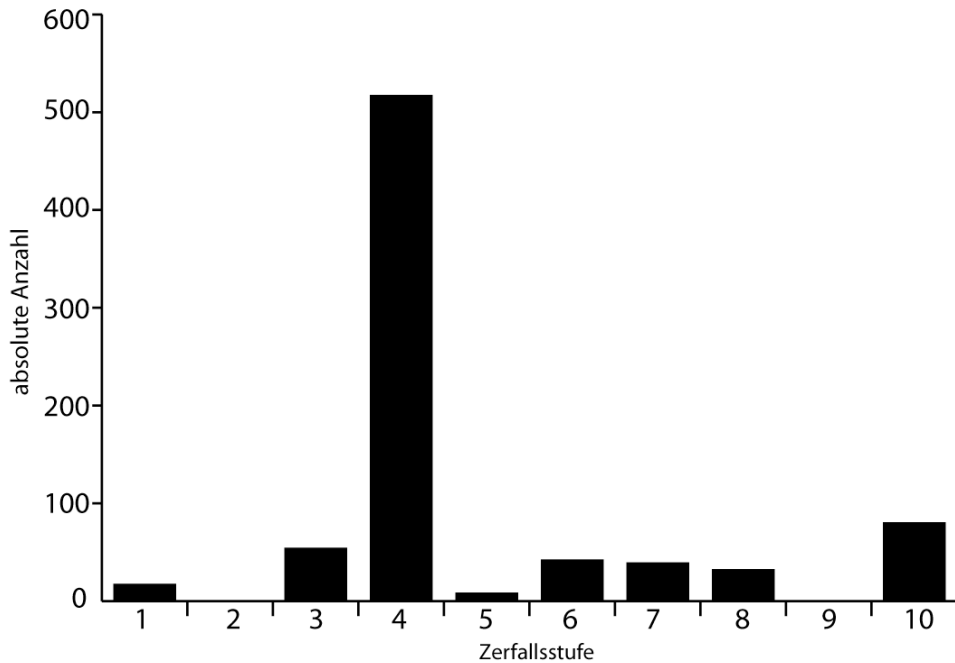
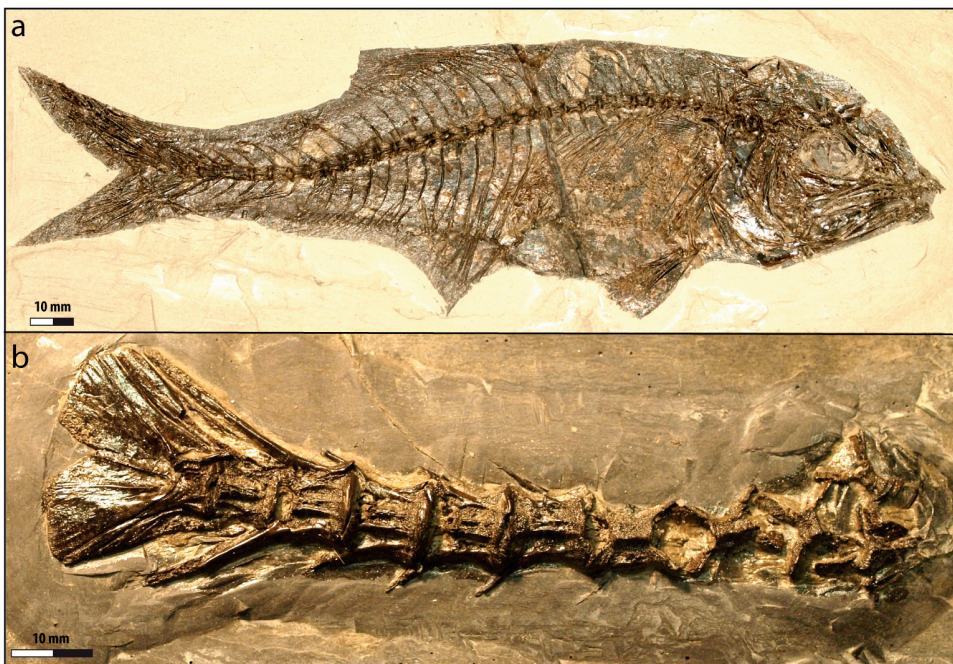


Diagramm 25: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes).



Tafel 15: Beispiele für Zerfallsstufen der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes): a. *Propercarina* sp., Zerfallsstufe 1 (SMNK-PAL 7179), b. Scombridae indet., Zerfallsstufe 6, caudaler Abschnitt der Wirbelsäule (SMNS 30415/2005, Inv. Nr. 80529/90).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Stachelmakrelenartige (*Carangiformes*): 136 Exemplare verteilen sich auf zwölf vollständige Ganzkörper (Zerfallsstufe 1), 122 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4) und zwei fragmentierte Schädel (Zerfallsstufen 6 und 8; Diagr. 26, Tab. 25/Anhang). 73,8 % der fragmentierten Ganzkörper sind disartikuliert und die Zerfallsstufe 4 ist damit die häufigste Erhaltungsform (Tafel 16 a).

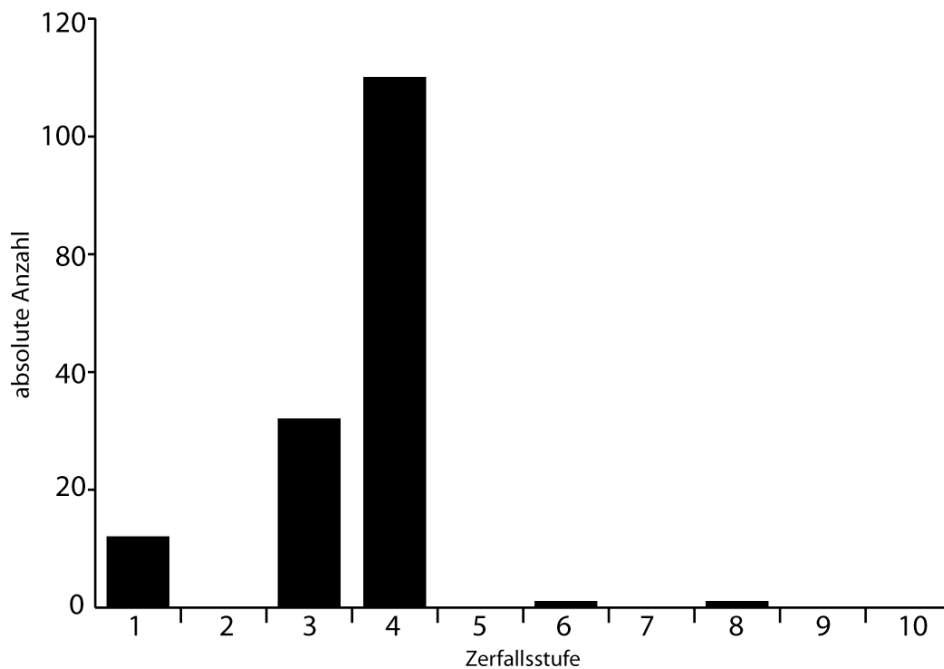


Diagramm 26: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen bei den Stachelmakrelenartigen (*Carangiformes*).

Plattfischartige (*Pleuronectiformes*): 31 Exemplare liegen ausnahmslos als Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 vor (Tafel 16 b, Tab. 26/Anhang).

Hornhechtartige (*Beloniformes*): 80 Exemplare in den Sammlungen verteilen sich auf 66 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4), 12 isolierte Körperteile (Zerfallsstufen 6 bis 8) und zwei Schuppen (Zerfallsstufe 10). Fragmentierte und disartikulierte Ganzkörper (Zerfallsstufe 4) sind mit 44 Exemplaren am häufigsten (Diagr. 27, Tab. 27/Anhang). Bei den isolierten Körperteilen handelt es sich ausnahmslos um Schädel (Tafel 16 c).

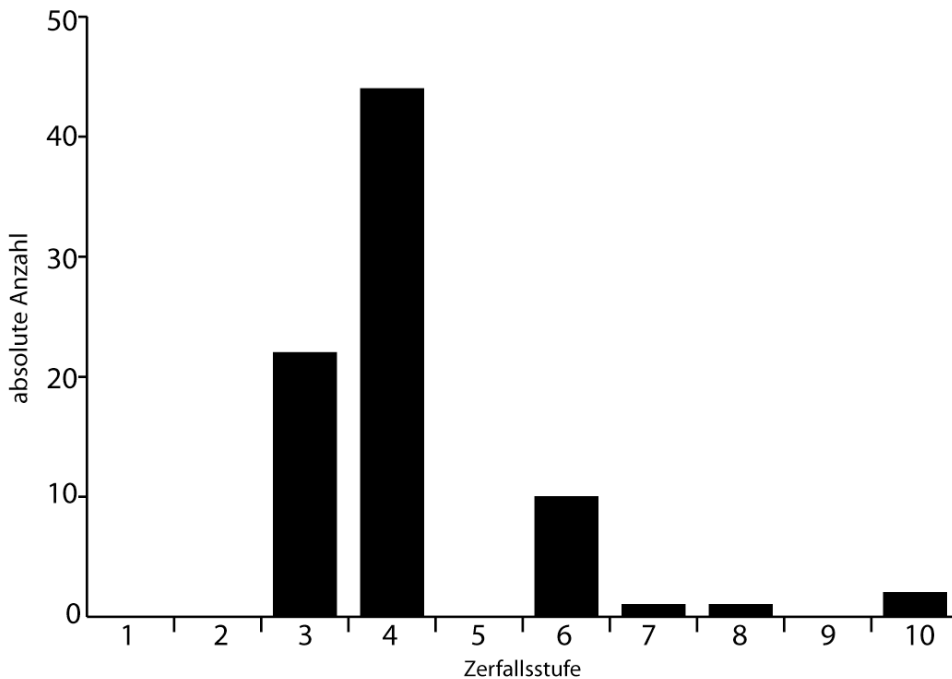


Diagramm 27: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Hornhechtartigen (Beloniformes).

Spatenfischartige (Ephippiformes): Bei den beiden Exemplaren handelt es sich um vollständige Ganzkörper der Zerfallsstufe 1 (Tafel 16 d, Tab. 28/Anhang).

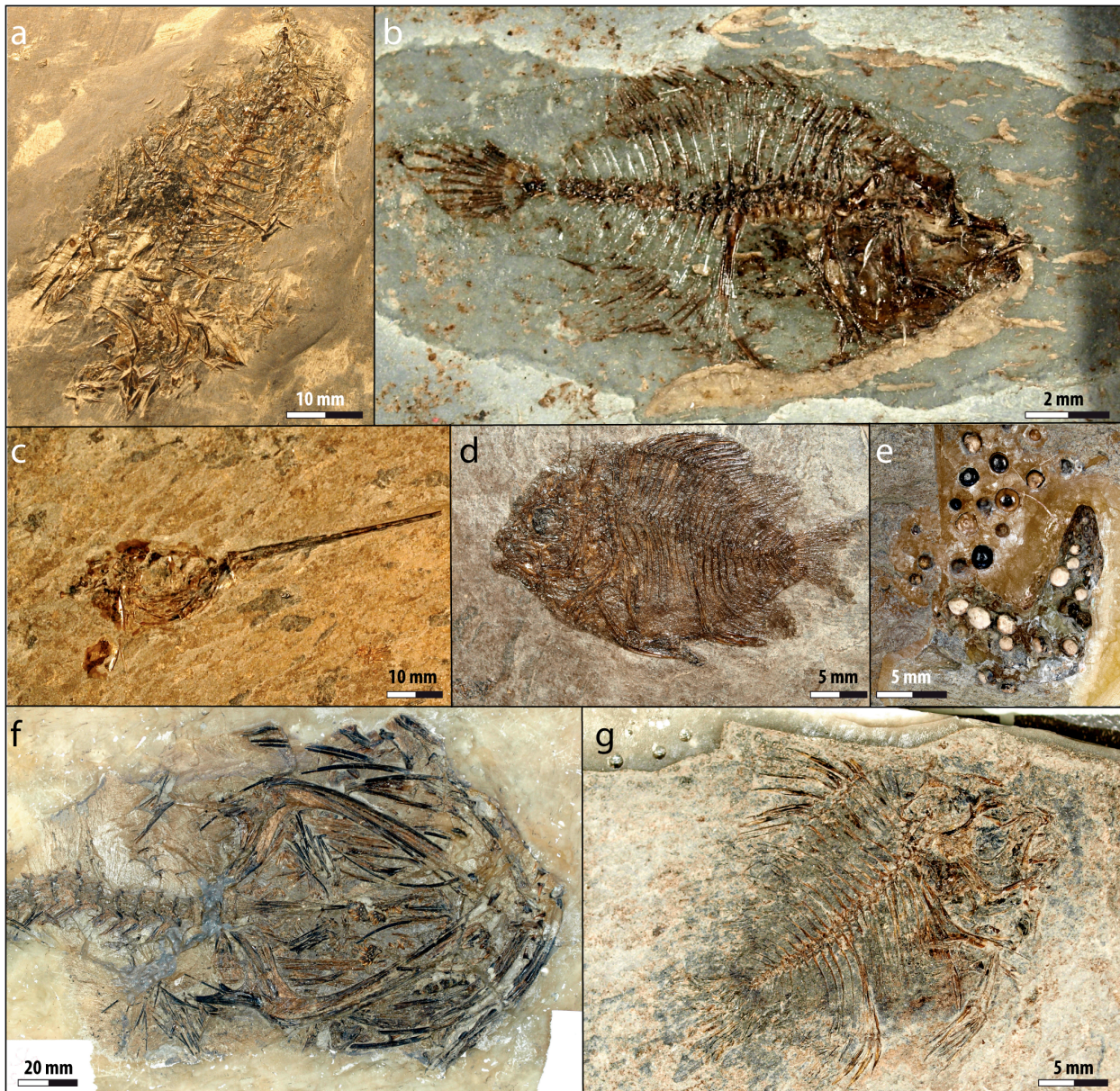
Meerbrassenartige (Spariformes): 13 Exemplare verteilen sich auf fünf fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4) und acht Kieferfragmente (Zerfallsstufen 6 bis 8; Tab. 29/Anhang). Zwei der Ganzkörper sind artikuliert (Zerfallsstufe 3) und drei sind disartikuliert (Zerfallsstufe 4). Sechs Kieferfragmente sind artikuliert (Zerfallsstufe 6) und zwei disartikuliert (Zerfallsstufe 8, Tafel 16 e).

Falterfischartige (Chaetodontiformes): Fünf Exemplare verteilen sich auf ein Exemplar der Zerfallsstufe 1 und jeweils zwei Exemplare der Zerfallsstufen 3 und 4 (vgl. Tafel 4 b, Tab. 30/Anhang).

Armflösserartige (Lophiiformes): Die beiden Exemplare liegen als Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 vor (Tafel 16 f, Tab. 31/Anhang).

Sonnenbarschartige (Centrarchiformes): Sechs untersuchte Exemplare verteilen sich auf einen Ganzkörper der Zerfallsstufe 1, drei der Zerfallsstufe 3 und zwei der Zerfallsstufe 4 (Tafel 16 g, Tab. 32/Anhang).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG



Tafel 16: Beispiele für Zerfallsstufen der a. Stachelmakrelenartigen (Carangiformes): *Archaeus* sp., Zerfallsstufe 4 (SMNS 30916/2005, Inv. Nr. 87457/4); b. Plattfischartigen (Pleuronectiformes): *Oligoscoptthalmus weissii* SAKAMOTO et al. 2003, Zerfallsstufe 3 (HLMD-SMFF 41); c. Hornhechtartigen (Beloniformes): *Hemiramphus* sp., Zerfallsstufe 5, Schädel (SMNS 30244/2005, Inv. Nr. 80738/162); d. Spatenfischartigen (Ephippiformes): *Archaehippus* sp., Zerfallsstufe 1 (HLMD-WT 32); e. Meerbrassenartigen (Spariformes): *Sparus* cf. *S. schoppii* WITTICH 1900, Zerfallsstufe 6, Kieferfragmente (HLMD-SMFF 307); f. Armflosserartigen (Lophiiformes): Lophiidae indet., Zerfallsstufe 3 (HLMD-SMFF 158 b); g. Sonnbarschartigen (Centrarchiformes): cf. *Microcanthus* sp., Zerfallsstufe 3 (HLMD-WT 409).

Barschartige (Perciformes): 932 Exemplare verteilen sich auf 93 vollständige Ganzkörper (Zerfallsstufen 1 und 2), 802 fragmentierte Ganzkörper (Zerfallsstufen 3 und 4), 14 isolierte Körperteile (Zerfallsstufen 5 bis 8) und 33 fragmentierte Schuppen (Zerfallsstufe 10). Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 sind mit 611 Exemplaren signifikant häufiger als die übrigen Zerfallsstufen (Diagr. 28, Tab. 33/Anhang). Bei den isolierten Körperteilen handelt es sich um Flossen und Schädel. Während die Flossen meist artikuliert sind, sind die Schädel öfter disartikuliert (Tafel 17).

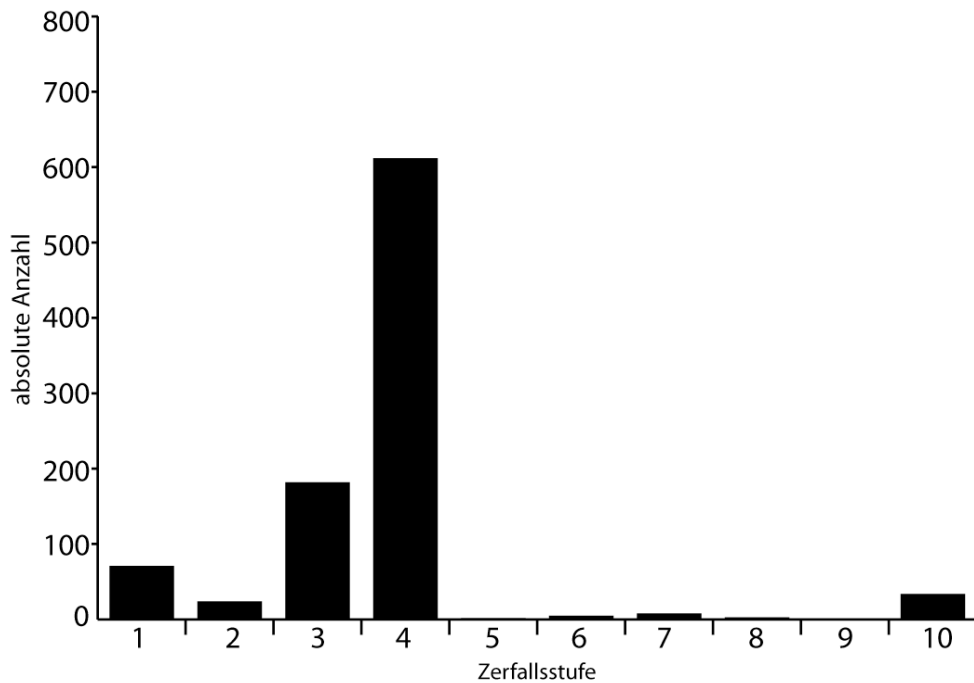
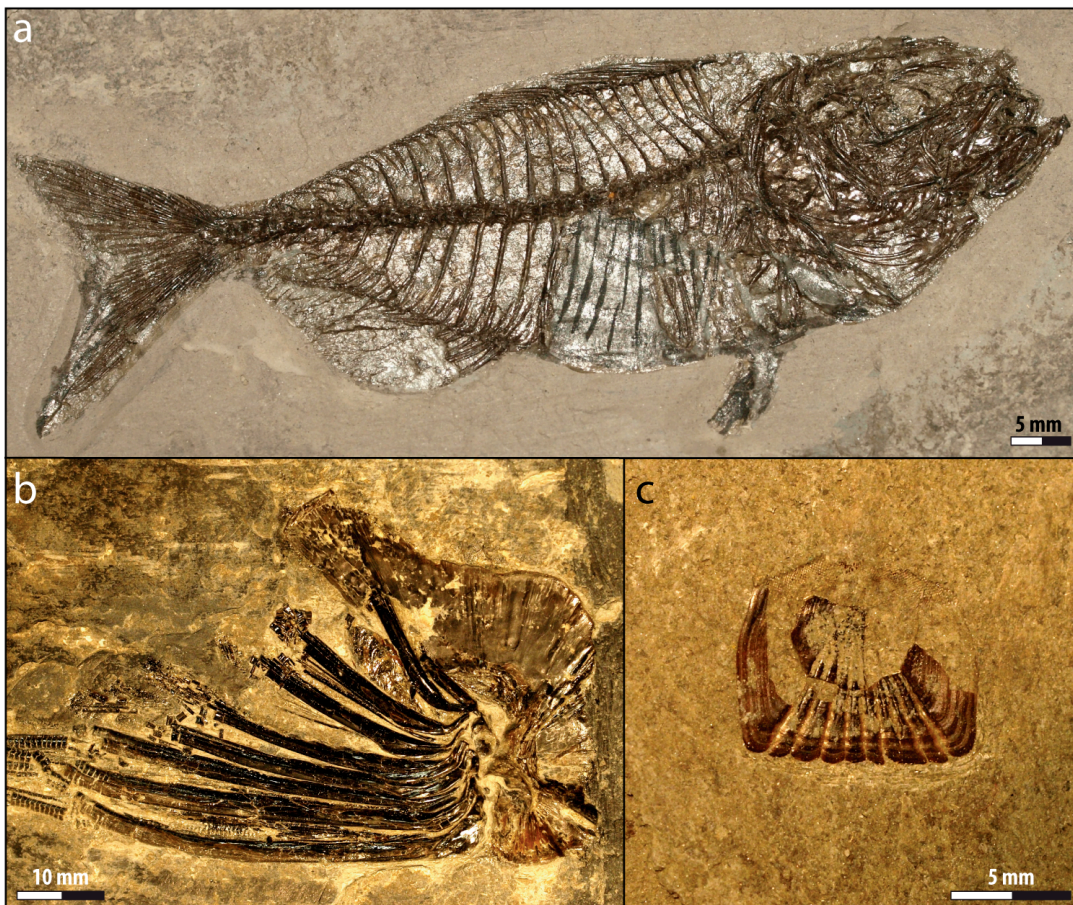


Diagramm 28: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Barschartigen (Perciformes).



Tafel 17: Beispiele für Zerfallsstufen der Barschartigen (Perciformes): a. Perciformes indet., Zerfallsstufe 1 (SMNK-PAL 6702), b. Perciformes indet., Zerfallsstufe 6, Brustflosse (SMNS 30743/2005, Inv. Nr. 87457/92), c. Perciformes indet., Zerfallsstufe 10, Kammschuppe (SMNS 30964/2005, Inv. Nr. 87457/244).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

4.5.5. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen

Der Großteil der Knochenfische ist als Primärfragmente überliefert. Die Zerfallsstufen 3, 4 und 10 sind die häufigsten Erhaltungszustände (vgl. Diagr. 20 bis 28). Das häufige Fehlen von Flossen und Schädeln sowie die hohe Abundanz von isolierten Schuppen geht vermutlich auf lange Driftzeiten an der Wasseroberfläche zurück, die einen graduellen Zerfall zur Folge hatten (IFRIM et al. 2005; vgl. Kap. 4.4.4.). Ein hohes Aufkommen von Aasfressern ist für den insgesamt lebensfeindlichen Ablagerungsbereich nicht anzunehmen (vgl. Kap. 3.5., 4.2.4.). Spuren, die auf Fraß während der Drift- und/oder Liegezeiten hindeuten würden, sind auch nicht bekannt.

Die meisten Taxa der Knochenfische (Teleostei) sind so selten, dass eine statistische Auswertung der Zerfallsstufen nicht möglich ist (vgl. Tab. 18 bis 33/Anhang). Daher wird im Folgenden nur auf die Taphonomie der häufigsten Fischtaxa eingegangen. Das sind Heringe (Clupeidae) mit 4.367 Exemplaren, der Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae) mit 2.324 Exemplaren, Seenadeln (Syngnathidae) mit 375 Exemplaren und Sägebarsche (Serranidae) mit 477 Exemplaren (vgl. Kap. 4.5.2.). Diese häufigsten Taxa sowie einige Besonderheiten der Fischfauna werden im Folgenden für die paläoökologischen Interpretationen herangezogen.

Heringe (Clupeidae): Diese Tiere haben eine Körperlänge zwischen 40 und 100 mm, einen zylindrischen Körper mit abgerundetem Bauch und einen gegabelten Schwanz (vgl. Tafel 4 a). 79,7 % der erhaltenen Elemente von Heringen (Clupeidae) sind Schuppen. 14,9 % sind Teilskelette, wovon wiederum 81,8 % disartikuliert und fragmentiert sind. Die übrigen Reste verteilen sich auf isolierte Körperteile (vgl. Kap 4.5.3.).

Die rezente Heringsart *Sardinella aurita* VALENCIENNES 1847 (Clupeidae), die als Vergleichstaxon für Clupeidae indet. sp. a herangezogen wird, lebt pelagisch in großen Schwärmen (MAXWELL et al. 2016; vgl. Kap. 4.5.1.). Sie kommen nur zur Paarung in die Nähe von Küsten. Die befruchteten Eier sinken dort auf den Meeresgrund und bleiben an Steinen und Pflanzen, wie z. B. Seegrasgewächse (Zosteraceae), kleben (WHITEHEAD 2005; Tab. 34/Anhang). Die beiden Vergleichstaxa für Clupeidae indet. sp. b und „*Sardinella*“ *sardinites* HECKEL 1850, die Heringe *Sardinella melanura* CUVIER 1829 und *Spratelloides gracilis* TEMMINCK & SCHLEGEL 1846, leben auch in Schwärmen. Sie halten sich aber meist in der Nähe von Küsten auf, unter anderem auch in Lagunen (MAXWELL et al. 2016; vgl. Kap. 4.5.1.). Es ist aufgrund der bevorzugten Lebensräume der rezenten Arten durchaus möglich, dass Heringe (Clupeidae) neben dem pelagischen Bereich und den Seegraswiesen gelegentlich auch die oberen Wasserschichten des Ablagerungsbereiches besiedelten. Das Verhältnis der Häufigkeit von Schuppen zu Ganzkörpern lässt jedoch den Schluss zu, dass der überwiegende Großteil von Heringsresten von verdrifteten Kadavern stammt (IFRIM et al. 2005; vgl. Diagr. 21, Kap. 4.4.4., 4.5.4.). Auch bei innerartlichen Kämpfen oder Angriffen können sich

Schuppen aus dem Körperverschmelzung lösen.

Wenn die Schwimmblase nicht verletzt wurde, sorgt diese bei toten Heringen (Clupeidae) vorerst für Auftrieb (WHITMORE 2003). Zusätzlich ist es in subtropischen bis tropischen Gewässern häufig, dass sich im Kadaver Fäulnisgase bilden, die den Auftrieb verstärken (REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.4.4.). Fische verwesen meistens von innen nach außen. Während Bakterien die Muskulatur zersetzen, können Haut, Schuppen und Skelett noch intakt bleiben, da die Entgasung über die Körperöffnungen erfolgt (WHITMORE 2003). Die stabile Beschuppung und die Schwimmblase könnten so ein langes Driften begünstigen, bis schließlich auch Schuppen und Skelettelemente beginnen abzufallen (IFRIM et al. 2005, REISDORF et al. 2012). Die Fossilien der Heringe (Clupeidae) aus dem Fischeisenerz können daher auch größtenteils von Individuen stammen, die im Nordsee oder in den Seegraswiesen umgekommen sind und anschließend in den Ablagerungsbereich hineindrifteten. Der hohe Anteil von disartikulierten und fragmentierten Heringsreste unterstützen diese Annahme (vgl. Kap. 4.5.3.).

Wenn aber die Schwimmblase beispielsweise durch eine Verletzung keinen Auftrieb ermöglichte, sinken auch die Kadaver von Heringen (Clupeidae) zügig auf den Meeresboden. Die Tiere, die auf diese Weise in den tiefen Gewässern des Nordmeeres umkamen, gelangten nicht mehr in den Ablagerungsbereich, da sie keinen Auftrieb mehr erhalten hätten (REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.4.4.). Diejenigen aber, die auf oben beschriebene Weise in der Wassersäule oberhalb des Ablagerungsbereiches umgekommen sind, hätten nach einem Absinken auf den Meeresboden auch wieder Auftrieb erlangt. Voraussetzung dafür ist, dass dieser in so einer geringen Tiefe lag, dass ein niedriger hydrostatischer Druck dies erlaubte (REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.2.4., 4.4.4.). Wenn Heringe (Clupeidae) zumindest gelegentlich die oberen Wasserschichten über dem Ablagerungsbereich durchschwommen haben und auch dort umgekommen sind, ist davon auszugehen, dass der Ablagerungsbereich meist in einer Wassertiefe von weit weniger als 50 m gelegen hat. Denn in einer größeren Wassertiefe wären die Heringe (Clupeidae) in dem anoxischen Faulschlammmilieu nahezu vollständig erhalten geblieben und Ganzkörperfossilien wären häufiger anzutreffen (REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.2.4., 4.4.4., 4.5.4.).

Das häufige Abknicken des Schädels bei Heringen („Clupeidenknick“) wurde als Hinweis auf Strömungen am Meeresboden gedeutet (WEILER 1966). Da aber für den Ablagerungsbereich der Tongrube Unterfeld keine signifikanten Strömungen nachgewiesen werden konnten (vgl. Kap. 3.3.), erklärt sich diese Erhaltung eher aus dem Absinken eines Kadavers mit dem Kopf voran zum Meeresboden (IFRIM et al. 2005). Beim Aufsetzen auf dem Substrat könnte der Kopf durch die hochflexible Wirbelsäule dieser Tiere nach ventral oder dorsal abgeknickt worden sein.

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Schnepfenfische (Centriscidae): Die Gattung *Aeoliscus* ist das zweithäufigste Knochenfischtaxon im Fischeschiefer. Die Fische haben eine Körperlänge von 30 bis 90 mm, seltener auch 110 mm. Der langgestreckte Körper besitzt einen Rücken- und Bauchpanzer und eine scharfe Bauchkante. Das Maul ist lang und röhrenförmig. Ventral des Rückenflossenstachels befindet sich eine verhältnismäßig kleine Schwanzflosse (vgl. Tafel 4 d).

Die adulten Tiere der rezenten Vergleichsarten *Aeoliscus strigatus* GÜNTHER 1861 und *A. punctulatus* BIANCONI 1855 leben bodennah in großen Schwärmen in einer Wassertiefe von maximal 20 m (MAXWELL et al. 2016). Sie schwimmen in senkrechter Haltung mit dem Kopf nach unten und verstecken sich zwischen Seeigelstacheln, Steinkorallen oder Seegräsern (FRITZSCHE 1984, DAWSON 1986, MEYERS 1991, KUITER 2001).

Bei den Ganzkörperfossilien von Schnepfenfischen (Centriscidae) fehlt häufig der caudale Abschnitt der Wirbelsäule und die Schwanzflosse (vgl. Tafel 4 d). Meist ist die stabile Einheit aus Schädel, Bauch- und Rückenpanzer überliefert. Die Zerfallsstufe 6 ist daher häufiger als bei anderen Knochenfischtaxa (vgl. Diagr. 24).

Da Schnepfenfische (Centriscidae) auch eine Schwimmblase besitzen und wahrscheinlich hauptsächlich in den Flachwasserbereichen der Seegraswiesen lebten, sind ähnliche biostratinomischen Prozesse wie bei den Heringen (Clupeidae) anzunehmen. Der Großteil der überlieferten Exemplare ist also auf verdriftete Kadaver, die einem graduellen Zerfall unterlegen waren, zurückzuführen. Lediglich der stabile Verbund aus Schädel und Panzer verhinderte einen stärkeren Zerfall während des Driftens an der Wasseroberfläche als bei anderen Knochenfischtaxa (vgl. Kap. 4.5.4.)

Seenadeln (Syngnathidae): Diese Fische sind meist 50 bis 80 mm lang und haben langgestreckte, schlanke Körper, welche mit Knochenplatten bedeckt sind (vgl. Tafel 14 a). Sie haben eine ähnliche Lebensweise wie Schnepfenfische (Centriscidae). Der Großteil (ca. 60 %) der Exemplare ist in der Zerfallsstufe 4 überliefert. Daher sind hier die gleichen biostratinomischen Prozesse wie für Heringe (Clupeidae) und Schnepfenfische (Centriscidae) anzunehmen. Allerdings hatten die Knochenplatten der Seenadeln (Syngnathidae) offenbar nicht die gleiche stabilisierende Wirkung wie der Knochenpanzer der Schnepfenfische (Centriscidae). Die Fossilien von Seenadeln (Syngnathidae) sind in der Regel stärker zerfallen als diejenigen der Schnepfenfische (Centriscidae).

Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes): Pelagisch lebende Raubfische, wie z. B. Schlangemakrelen (Gempylidae), Haarschwänze (Trichiuridae) und einige Scombridae (Makrelen- und Thunfische) sind die dritthäufigste Knochenfischgruppe im Fischeschiefer (vgl. Kap. 4.5.2.). Die meisten Arten haben längliche, spindelförmige Körper. Einige können bis zu 4 m lang werden. Durchschnittlich erreichen Sie Körperlängen von unter einem Meter (WESTHEIDE & RIEGER 2009).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Der Kopf ist spitzkegelig und die Schwanzflosse (Caudale) halbmondförmig (semilunat; WESTHEIDE & RIEGER 2009). Im Fischschiefer sind die Schlangemakrele *Propercarina* (Gempylidae) und der Pelamide *Sarda* (Scombridae) am häufigsten (vgl. Kap. 4.5.2.).

Die rezenten Vergleichstaxa, der Pelamide *Sarda sarda* BLOCH 1793 (Scombridae) und die Schlangemakrele *Armasipus carlsbergi* HAEDRICH 1969 (Gempylidae), gehen in der Nähe von Küsten auf Nahrungssuche (MAXWELL et al. 2016; Tab. 34/Anhang). Daher ist es möglich, dass auch diese Knochenfischtaxa den Ablagerungsbereich gelegentlich aufgesucht haben (vgl. Kap. 4.4.4.).

Mit 65,5 % sind auch hier Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 am häufigsten (vgl. Tab. 24/Anhang). Viele Makrelen- und Thunfischarten besitzen wie Haie (Selachii) und Rochen (Batoidea) keine Schwimmblase (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Weiterhin begünstigt durch eine hohe Körperdichte sinken deren Kadaver schnell auf den Meeresboden ab (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Da aber auch von Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) größtenteils disartikulierte, fragmentierte Ganzkörper und viele isolierte Körperelemente vorliegen, deutet dies tendenziell darauf hin, dass auch diese Kadaver langen Driftzeiten ausgesetzt waren (IFRIM et al. 2005; vgl. Kap. 4.4.4.). Die Kadaver würden nicht wieder auftreiben, wenn das Wasser, in dem sie umgekommen sind, tiefer als 50 m war (REISDORF et al. 2012). Diese Exemplare sind höchstwahrscheinlich nicht im Rupelmeer gestorben und danach erst in den Ablagerungsbereich eingedriftet (REISDORF et al. 2012). Vielmehr müssen sie im Bereich der Seegraswiesen oder im Ablagerungsbereich selbst umgekommen sein (vgl. Kap. 4.4.4.). Das würde erneut die Annahme stützen, dass sich der Ablagerungsbereich des Fischschiefers zumindest zeitweise in weniger als 50 m Wassertiefe befunden hat (vgl. Kap. 4.2.4., 4.4.4.) Durch die Erhaltung einiger Heringe (Clupeidae) als Mageninhalt von z. B. Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) ist belegt, dass diese als Nahrung für diese Raubfische dienten (Abb. 33). Wenn sich die Heringe im Ablagerungsbereich und über den Seegraswiesen aufhielten, lockte das eventuell auch die Raubfische gelegentlich dort hin. Eine Wassertiefe von mehr als 50 m und ein hohes Aufkommen von Heringsschwärmen und Raubfischen über dem Ablagerungsbereich hätte aber insgesamt weitaus mehr artikuliert Fossilien zur Folge gehabt (vgl. Kap. 4.4.4.).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG



Abbildung 33: Reste eines nicht näher bestimmbar Hering (Clupeidae indet., roter Kreis) als Mageninhalt eines nicht näher bestimmten Haarschwanzes (Trichiuridae indet., SMNS 30265/2005, Inv. Nr. 80739/22).

Sägebarsche (*Serranidae*): Diese Fische sind zwischen 40 und 60 mm lang und haben einen spindelförmigen Körper, der lateral abgeflacht ist. Die Rückenflosse ist durchgehend und hartstrahlig. Die Schwanzflosse ist gegabelt (Abb. 34). Auch bei diesem Taxon sind ca. 60 % der Exemplare in der Zerfallsstufe 4 überliefert (vgl. Kap. 4.1.4.). Sägebarsche (*Serranidae*) besitzen eine Schwimmblase und es werden die bereits beschriebenen biostratinomischen Prozesse wie für Heringe (*Clupeidae*), Schnepfenfische (*Centriscidae*) und Seenadel (*Syngnathidae*) angenommen.



Abbildung 34: Sägebarsch *Oliganodon budensis* HECKEL 1856 (*Serranidae*), Zerfallsstufe 2, (SMNS 30973/2005, Inv. Nr. 87457/27).

Schiffshalter (*Echeneidae*): Diese Tiere haften sich mit einer zur Saugplatte umgewandelten Dorsalflosse an größeren Tieren, wie z. B. Haien (*Selachii*), fest (MICKLICH et al. 2016). Die überlieferten Exemplare stammen von Tieren, die vor der Einbettung mit der Saugplatte zuerst auf dem Meeresboden aufgekommen sind (MICKLICH et al. 2016). Die Schiffshalter (*Echeneidae*) könnten bereits tot von ihrem Wirt über dem Ablagerungsbereich abgefallen oder beim selbstständigen Schwimmen umgekommen sein. Dies wäre ein Hinweis darauf, dass die oberen Wasserschichten vielleicht doch gelegentlich von größeren Wirbeltieren, wie Haie (*Selachii*) oder Meeresschildkröten (*Cheloniidae*), aufgesucht wurden (vgl. Kap. 4.4.4.). Die Disartikulation der Schädel der Schiffshalter (*Echeneidae*) lässt den Schluss zu, dass der Kopf während der Liegezeit des Kadavers auf dem Sediment noch etwas in die Höhe emporragte und damit in sauerstoffreichere Wasserschichten reichte (MICKLICH et al. 2016). Da der Schädel dieser Tiere nur etwa 20 bis 50 mm lang ist, dürfte die sauerstoffarme Wasserschicht über dem Meeresboden im Ablagerungsbereich sehr geringmächtig gewesen sein (MICKLICH et al. 2016). Diese These wurde bereits von HOVESTADT et al. 2010 anhand des Erhaltungszustandes eines Rochens (*Batoidea*) aufgestellt (vgl. Kap. 4.4.4.). Da im Fall der Schiffshalter (*Echeneidae*) ein schnelles Absinken ohne lange Driftzeiten vorausgesetzt wird, ist davon auszugehen, dass die beiden Kadaver wahrscheinlich in einer Wassertiefe auf dem Meeresboden aufkamen, in der Wiederauftreiben der Kadaver durch einen hohen hydrostatischen Druck verhindert wurde (REISDORF et al. 2012).

Brack-/Süßwasserarten: Arten, deren rezente Vergleichstaxa Brack- oder Süßwasser bevorzugen, sind selten (Tab. 34/Anhang). Dazu gehören z. B. der Steuerbarsch *Microcanthus* (*Kyphosidae*), der Ponyfisch *Leiognathoides* (*Leiognathidae*) oder die Meerbrasse *Sparus* (*Sparidae*). Einerseits unterstützt das Vorkommen dieser Gattungen die Überlegung, dass in der Umgebung des Ablagerungsbereiches Flussmündungen existierten (vgl. Kap. 3.5, 4.1.4., 4.2.4., 4.4.4.). Andererseits belegt die niedrige Abundanz dieser Taxa, dass diese Süßwassereinflüsse wahrscheinlich weit entfernt vom Ablagerungsbereich lagen (vgl. Kap. 3.5.).

Jungfische: Die Jungtiere der meisten Knochenfischtaxa dürften sich vor Fressfeinden in den Seegraswiesen versteckt haben. Der Großteil der Jungfische ist wenig zerfallen und fragmentiert. Die vielen Jungfische und auch die wenigen Wirbeltierfossilien der Zerfallsstufe 1 wurden in der Vergangenheit auf Individuen zurückgeführt, die sich in die tieferen, lebensfeindlichen Wasserschichten des Ablagerungsbereiches verirrt und dort umkamen (z. B. WEILER 1966, MICKLICH et al. 2009). Da die meisten Jungfische nur wenige Millimeter lang sind, würde auch hier eine anoxische Schicht im 100 mm-Bereich bereits ausreichen (vgl. Kap. 4.4.4.).

Seegraswiesen: Viele rezente Vergleichstaxa von Knochenfischen (*Teleostei*) aus dem Fischschiefer sind in ihrer Lebensweise an Seegraswiesen gebunden (MAXWELL et al. 2016;

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

vgl. Kap. 4.1.4., Tab. 34/Anhang.). Entweder leben sie direkt in den Seegraswiesen oder pflanzen sich zumindest dort fort. Dazu gehören z. B. Heringe (Clupeidae), Schnepfenfische (Centriscidae), Seenadeln (Syngnathidae), Trompetenfische (Aulostomidae), Sägebarsche (Serranidae), Dorsche (Gadidae) und Hornhechtartige (Beloniformes; Tab. 34/Anhang). Die meisten dieser Taxa sind im Fischechiefer auch als Jungfische überliefert (vgl. Kap. 4.5.3.). Dies entspricht dem Ergebnis aus Kap. 4.1.4., dass in der Umgebung des Ablagerungsbereiches lebensfreundliche Bedingungen mit Seegraswiesen existiert haben (vgl. Kap. 3.5.). Für die meisten der seegraswiesenbewohnenden Knochenfischtaxa ist ein Leben im sauerstoffarmen Ablagerungsbereich aufgrund ihrer benthopelagischen oder auch endobenthischen Lebensweise ohnehin ausgeschlossen (Tab. 34/Anhang, vgl. Kap. 3.5.).

Die bisher erzielten Ergebnisse (vgl. Kap. 4.1.4., 4.2.4., 4.4.4.) und die Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Knochenfische (Teleostei) belegen lange Driftzeiten sowohl aus den küstennahen Flachwasserbereichen der Seegraswiesen als auch aus dem pelagischen Bereich.

Insgesamt spricht die Fossilienvergemeinschaftung der Knochenfische (Teleostei) für ein subtropisches bis subtropisches Klima, da ein Großteil der rezenten Vergleichstaxa heute in solchen Meeresbereichen auftreten (Diagr. 29, Tab. 34/Anhang). Zwei Drittel der Taxa ziehen ein vollmarines Habitat vor, etwa ein Drittel ist auch brackwassertolerant (Diagr. 29 b). Die meisten Knochenfischtaxa leben in Wassertiefen von bis zu 500 m. Annähernd die Hälfte davon ist in Wassertiefen von maximal 50 m zu finden (Diagr. 29 c).

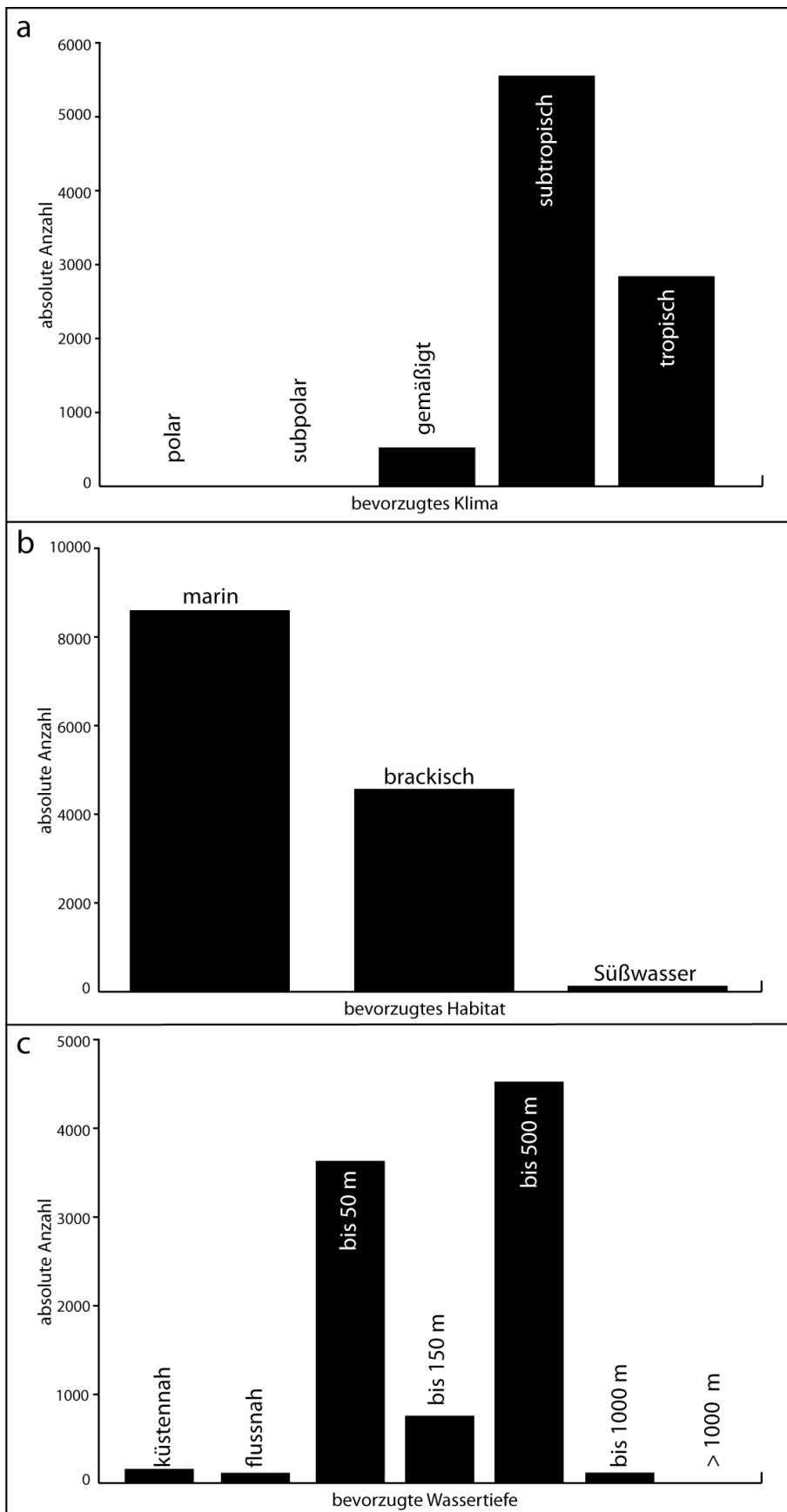


Diagramm 29: Bevorzugte Umweltbedingungen der Teleostei aus dem Fischeisener. Vergleich mit Individuen der rezenten Taxa wie in Tab. 34/Anhang gegeben: a. bevorzugtes Klima, b. bevorzugtes Habitat, c. bevorzugte Wassertiefe.

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

4.6. Landwirbeltiere (Tetrapoda)

4.6.1. Taxonomischer Überblick

Nahezu sämtliche Überreste von Landwirbeltieren (Tetrapoda) wurden in Einzelpublikationen bearbeitet und veröffentlicht. Durch MAXWELL et al. (2016) erfolgte die letzte Auflistung (vgl. Kap. 1.2.6.3.). Diese Faunenliste wird um ein Taxon aus der Gruppe der Krokodile (Crocodylia) erweitert (Tab. 35/Anhang). Die Hautknochenplatten-Reste in der GEOW-Sammlung (RP 01189) wurden von WAGNER-KLETT (1919) in der Vergangenheit als *Diplocynodon* sp. bestimmt (vgl. Kap. 6.1.). Da eine Bestimmung bis auf die Gattung nicht möglich ist, werden die Exemplare als Crocodylia indet. eingeordnet (mündl. Mitt. C. Brochu 2014, E. Frey 2014; Tab. 35/Anhang).

Eine aktuelle Studie (VOSS & HAMPE 2017) legt zudem nahe, dass die Seekuh (Sirenia), die als „*Halitherium* cf. *schinzi*“ KAUP 1838 bestimmt wurde, der Gattung *Kaupitherium* zugehörig ist (SCHÖGGL & MICKLICH 2010, MAXWELL et al. 2016).

4.6.2. Häufigkeit und Diversität

89 taxonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf ein nicht näher bestimmtes Exemplar (Tetrapoda indet., 1,1 %), 28 Schildkröten (Testudinata, 31,5 %), ein Krokodil (Crocodylia, 1,1 %), 55 Vögel (Aves, 61,8 %) und vier Säugetiere (Mammalia, 4,5 %; Tab. 36/Anhang, Diagr. 30).

Schildkröten (Testudinata): Zwölf Exemplare sind nicht näher bestimmt (Testudinata indet., 42,9 %). 14 Exemplare stammen von Meeresschildkröten (Cheloniidae, 50 %). Davon sind sechs nicht näher bestimmt (Cheloniidae indet., 21,4 %) und acht wurden als cf. „*Chelonia*“ *gwinneri* WEGNER 1918 eingeordnet (28,6 %).

Ein Exemplar der Weichschildkröten (Trionychidae) ist nicht näher bestimmt (Trionychidae indet., 3,6 %) und ein Exemplar wurde als cf. *Trionyx (Platypeltis) posterus* GRAY 1831 (3,6 %) eingeordnet (Diagr. 30, 31).

Krokodile (Crocodylia): Ein Exemplar ist nicht näher bestimmt (Diagr. 30, vgl. Kap. 4.6.1.).

Vögel (Aves): 30 Exemplare sind nicht näher bestimmt (Aves indet. 54,5 %). Daneben gibt es noch einen nicht näher bestimmten Röhrennasenartigen (Procellariiformes indet., 1,8 %). Die bestimmbaren Exemplare verteilen sich auf einen Seetaucher der Art *Colymboides? metzleri* MAYR 2004 (Gaviidae, 1,8 %), acht Exemplare der Röhrennase *Rupelornis* cf. *R. brodkorbi* CHENEVAL 1995 (Diomedeoididae, 14,5 %) und zwei von *Rupelornis* cf. *R. definitus* VAN BENEDEN 1817 (Diomedeoididae, 3,6 %). Des Weiteren sind vier Kolibris der Art *Eurotrochilus inexpectatus*

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

MAYR 2004 (Trochilidae, 7,3 %), ein Laufhuhn der Art *Turnipax oechslerorum* MAYR & KNOPF 2007 (Turnicidae, 1,8 %), ein Mausvogel der Art *Oligocolius brevitorsus* MAYR 2000 (Coliidae, 1,8 %), ein Exemplar des Trogons cf. *Primotrogon* (Trogonidae, 1,8 %), zwei Todis der Art *Palaeotodus itiardensis* MOURER-CHAVIRÉ 1985 (Todidae, 3,6 %), zwei Spechte der Art *Rupelramphastoides knopfi* MAYR 2005 (Picidae, 3,6 %) und der Sperlingsartige unsicherer taxonomischer Stellung *Wieslochia weissii* MAYR & MANEGOLD 2006 (Passeriformes inc. sed.) bekannt (1,7 %; Diagr. 30, 31).

Säugetiere (Mammalia): Zwei Seekühe (Sirenia) verteilen sich auf eine nicht näher bestimmte Gabelschwanzseekuh (Dugongidae indet., 25 %) und ein Exemplar der Art „*Kaupitherium* cf. *schinzii*“ KAUP 1838 (Dugongidae, 25 %). Das Fledertier (Chiroptera) wurde als cf. *Myotis horaceki* ZIEGLER 2003 bestimmt (Vespertilionidae, 25 %) und das Raubtier (Carnivora) als *Apterodon rauenbergensis* FREY et al. 2010 (Hyaenodontidae, 25 %; Diagr. 30).

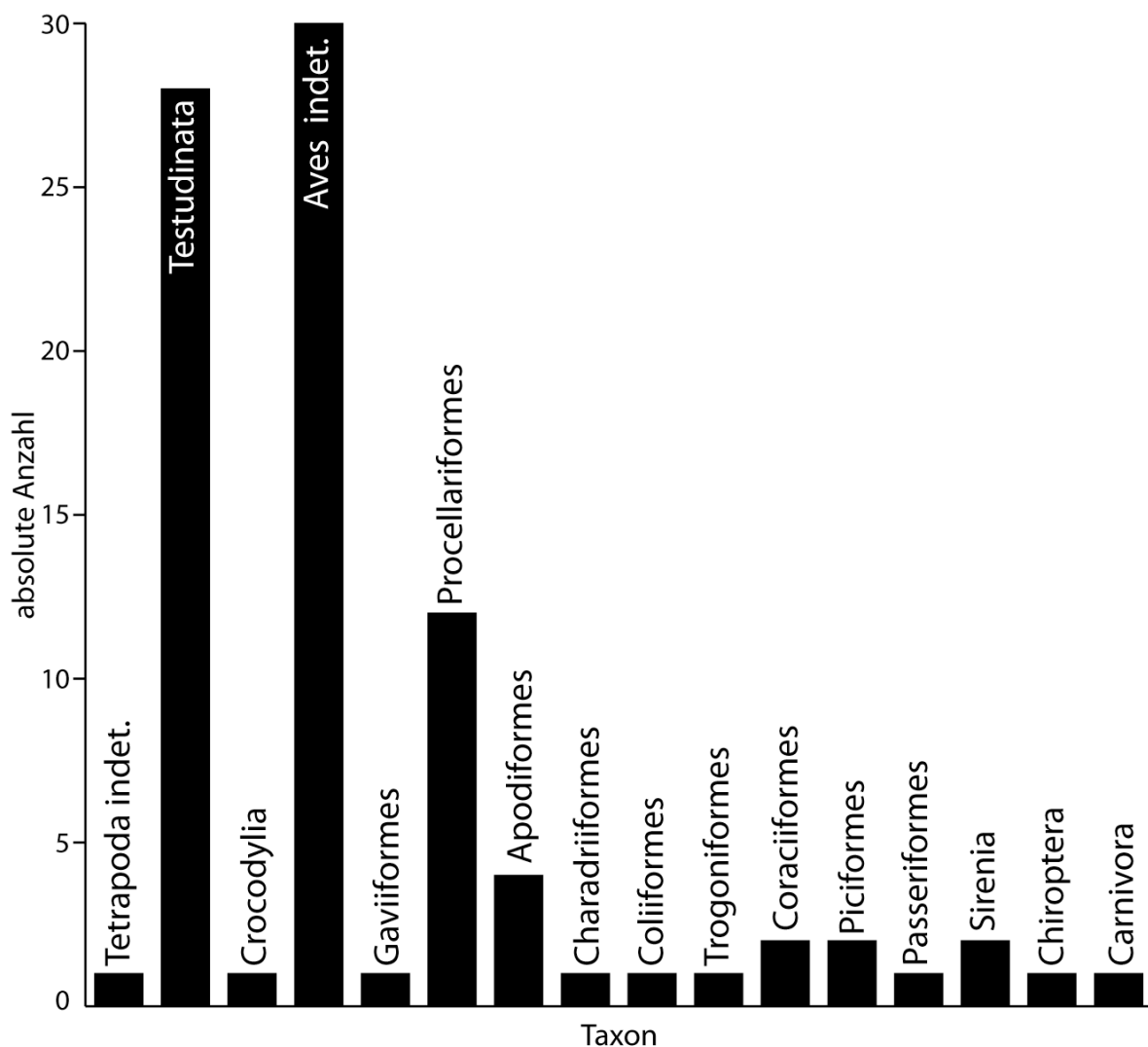


Diagramm 30: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Landwirbeltiere (Tetrapoda).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

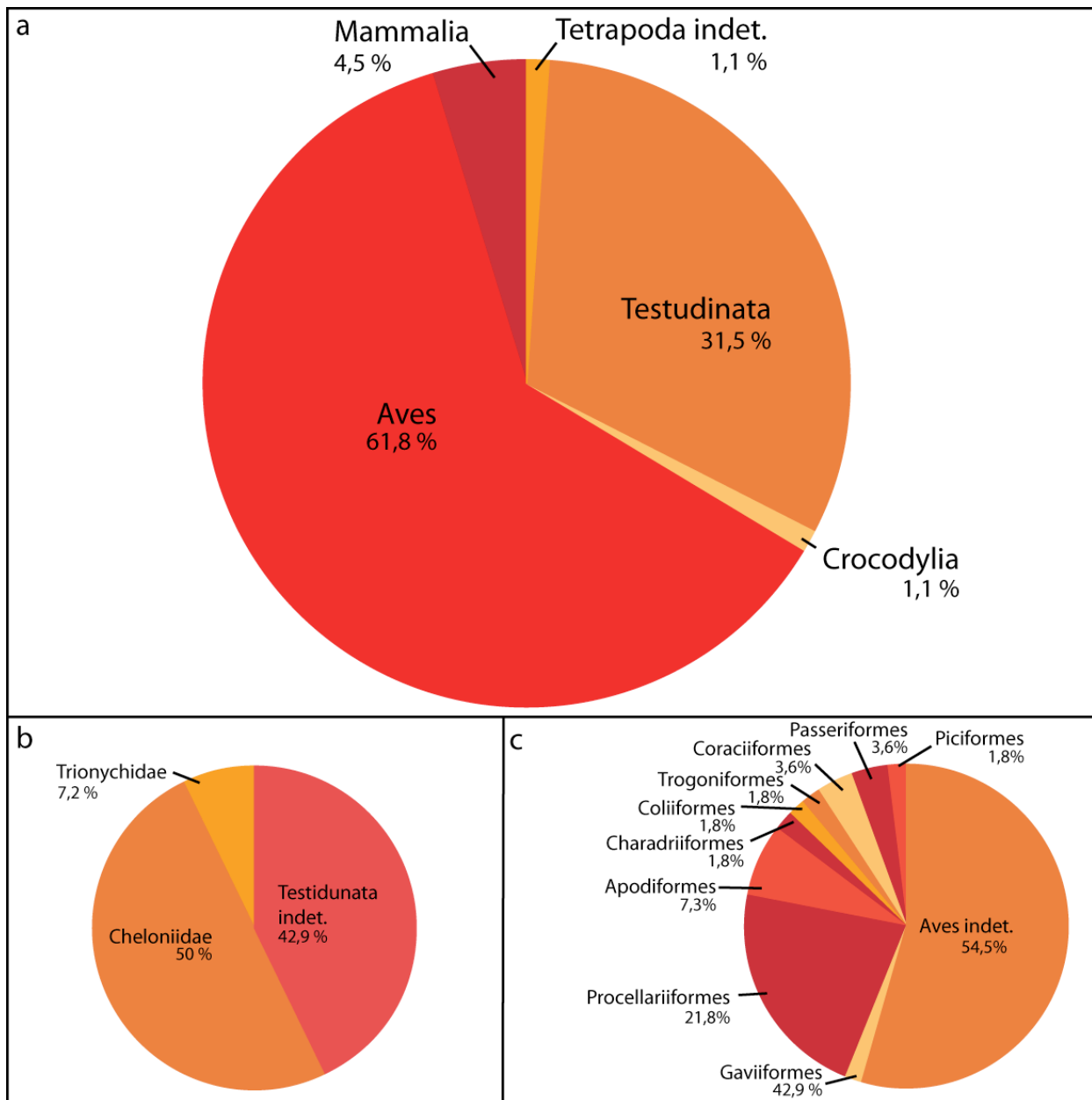


Diagramm 31: Relative Häufigkeitsverteilung a. aller Landwirbeltiertaxa, b. der Schildkröten (Testudinata) und c. der Vögel (Aves).

4.6.3. Zerfallsstufen

88 taphonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf zwei vollständige Ganzkörper der Zerfallsstufen 1 und 2 (2,3 %), 33 fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 (37,5 %), 26 Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 (29,5 %) und 27 Einzelelemente der Zerfallsstufe 10 (30,7 %; Diagr. 32, Tab. 37/Anhang).

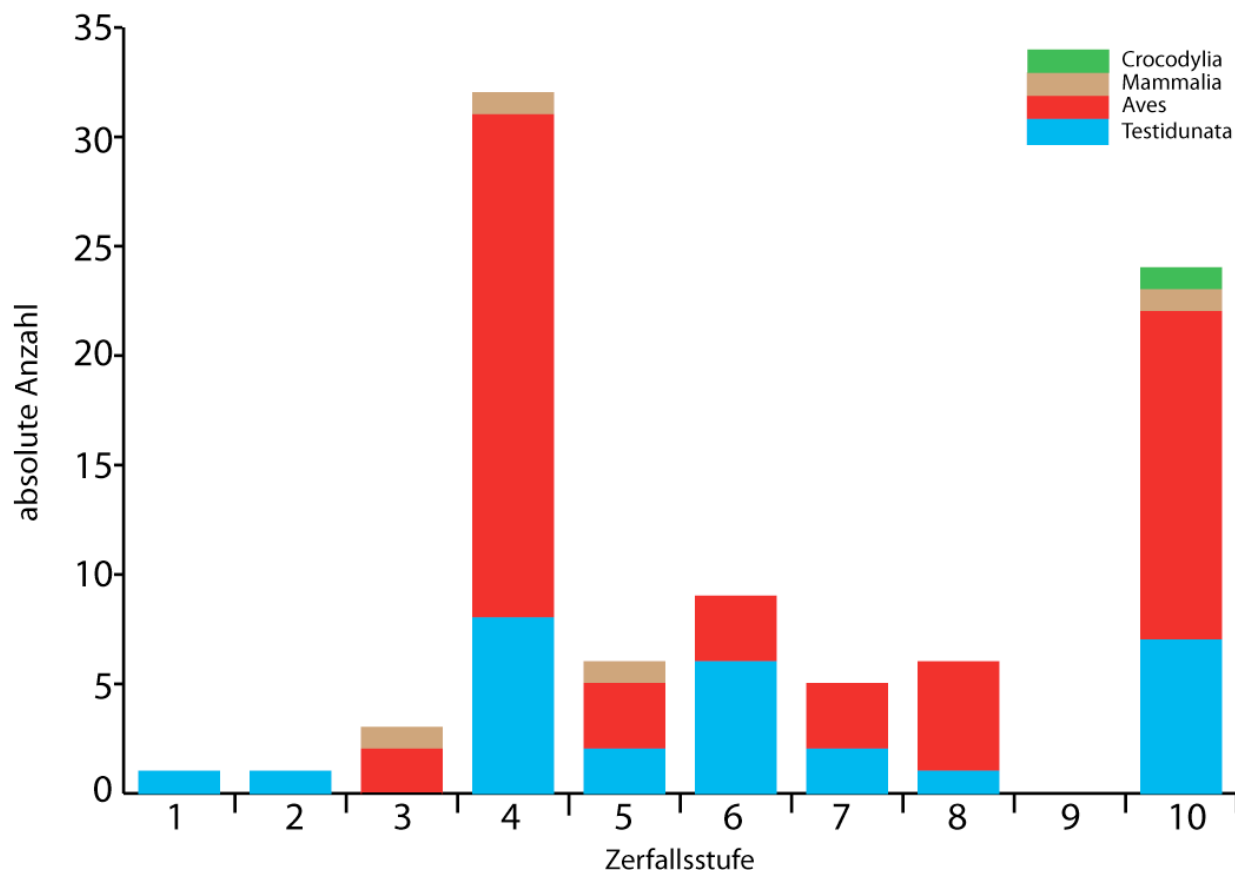


Diagramm 32: Absolute Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Landwirbeltiere (Tetrapoda).

Schildkröten (*Testudinata*): 28 taphonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf zwei vollständige Ganzkörper der Zerfallsstufen 1 und 2 (7,1 %), sieben Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 (25 %), elf Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 (39,3 %) und sieben Einzelemente der Zerfallsstufe 10 (25 %; Tafel 18).

Acht der elf Körperteile sind Knochenpanzer, die sowohl vollständig als auch fragmentiert vorliegen. Dabei handelt es sich um einen Rückenpanzer (Carapax), vier Bauchpanzer (Plastron) sowie drei Panzer mit Carapax und Plastron. Bei den übrigen drei handelt es sich um Vorderextremitäten der Zerfallsstufe 6. Annähernd die Hälfte (zwölf Exemplare) aller überlieferten Exemplare sind Knochenpanzer oder deren Fragmente.

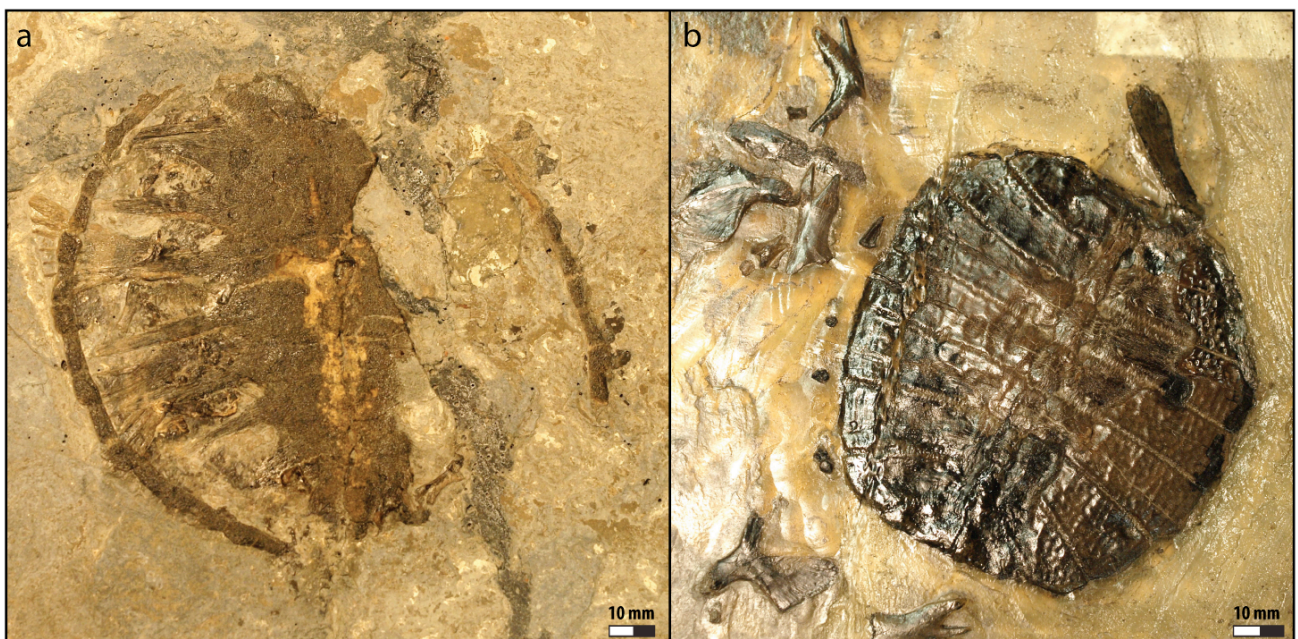
Ein Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 und ein Knochenpanzer mit Carapax und Plastron stammen von Weichschildkröten (*Trionychidae*). Die übrigen Überreste stammen allesamt von Meeresschildkröten (*Cheloniidae*).

Krokodile (*Crocodylia*): Das Vorkommen von Krokodilen (*Crocodylia*) im Fischeischiefer ist lediglich durch 16 stark fragmentierte Hautknochenplatten (*Osteodermata*) belegt (Zerfallsstufe 10; Abb. 35).

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Vögel (Aves): 54 taphonomisch untersuchte Exemplare verteilen sich auf 25 Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 (46,3 %), 14 Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 (25,9 %) und zehn Einzelemente der Zerfallsstufe 10, 18,5 %). 23 der Ganzkörper sind disartikuliert (Zerfallsstufe 4), die übrigen Zwei sind artikuliert (Zerfallsstufe 3). Bei den isolierten Körperteilen handelt es sich hauptsächlich Vorder- und Hinterextremitäten. Die Einzelemente umfassen Federn, Krallen und Langknochen (Tafel 19).

Säugetiere (Mammalia): Die Fledermaus (Microchiroptera) ist als Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 überliefert. Gabelschwanzseekühe (Dugongidae) sind durch einen Ganzkörper der Zerfallsstufe 3 (vgl. Tafel 5 b) und eine Vorderextremität der Zerfallsstufe 5 belegt. Die fragmentierte Unterkieferhälfte des Urraubtieres *Apterodon rauenbergensis* FREY et al. 2010 zeigt starke Abrasionen der Zähne und an den Bruchkanten des Knochens (Zerfallsstufe 10; FREY et al. 2010, vgl. Tafel 5 d).



Tafel 18: Beispiele für die Erhaltung von Panzern der Schildkröten (Testudinata): a. Carapax und Plastron einer Meeresschildkröte (cf. „*Chelonia*“ *gwinneri* WEGNER 1918), b. Carapax einer Weichschildkröte (Trionychidae indet., SMNS 96919).

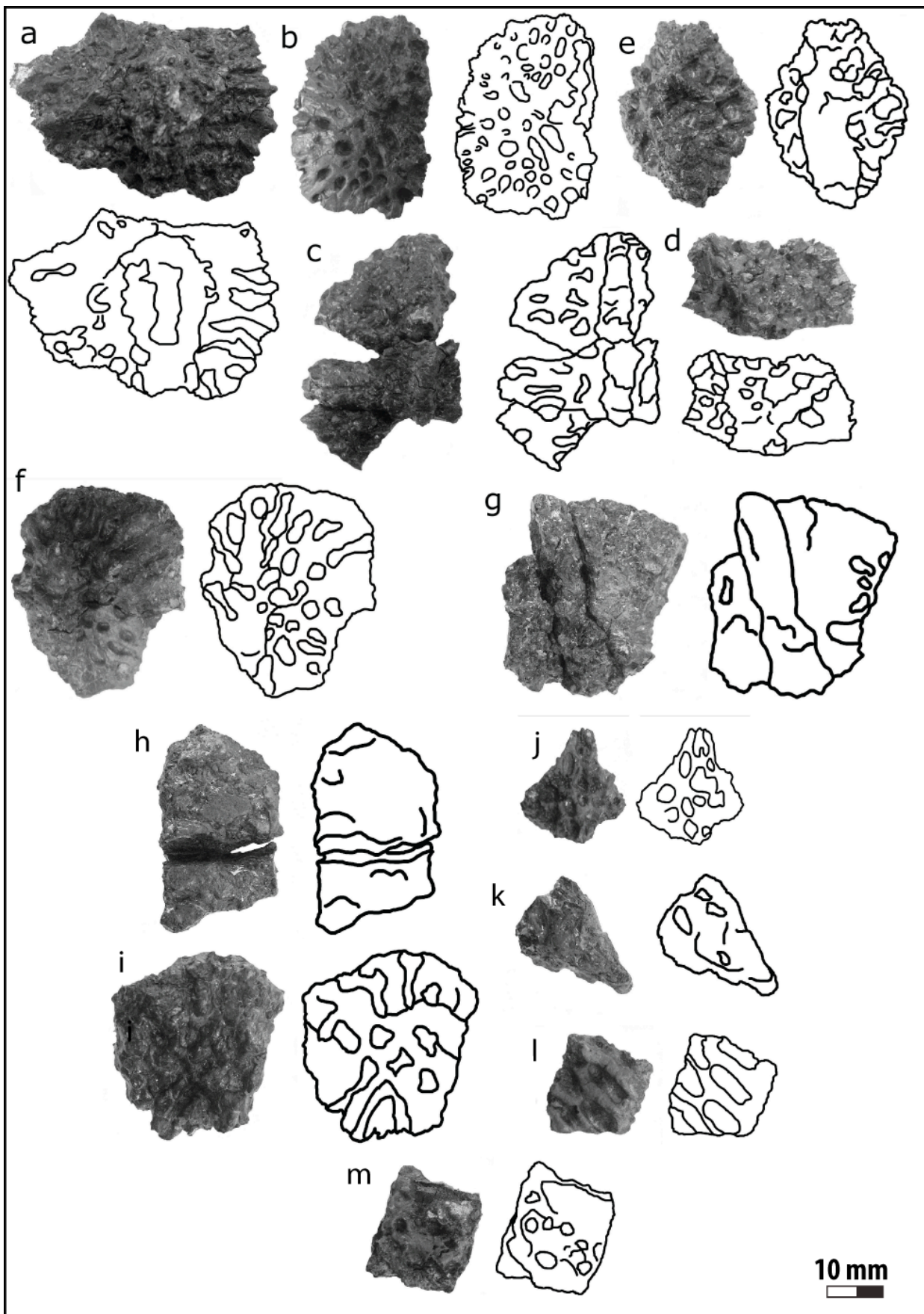
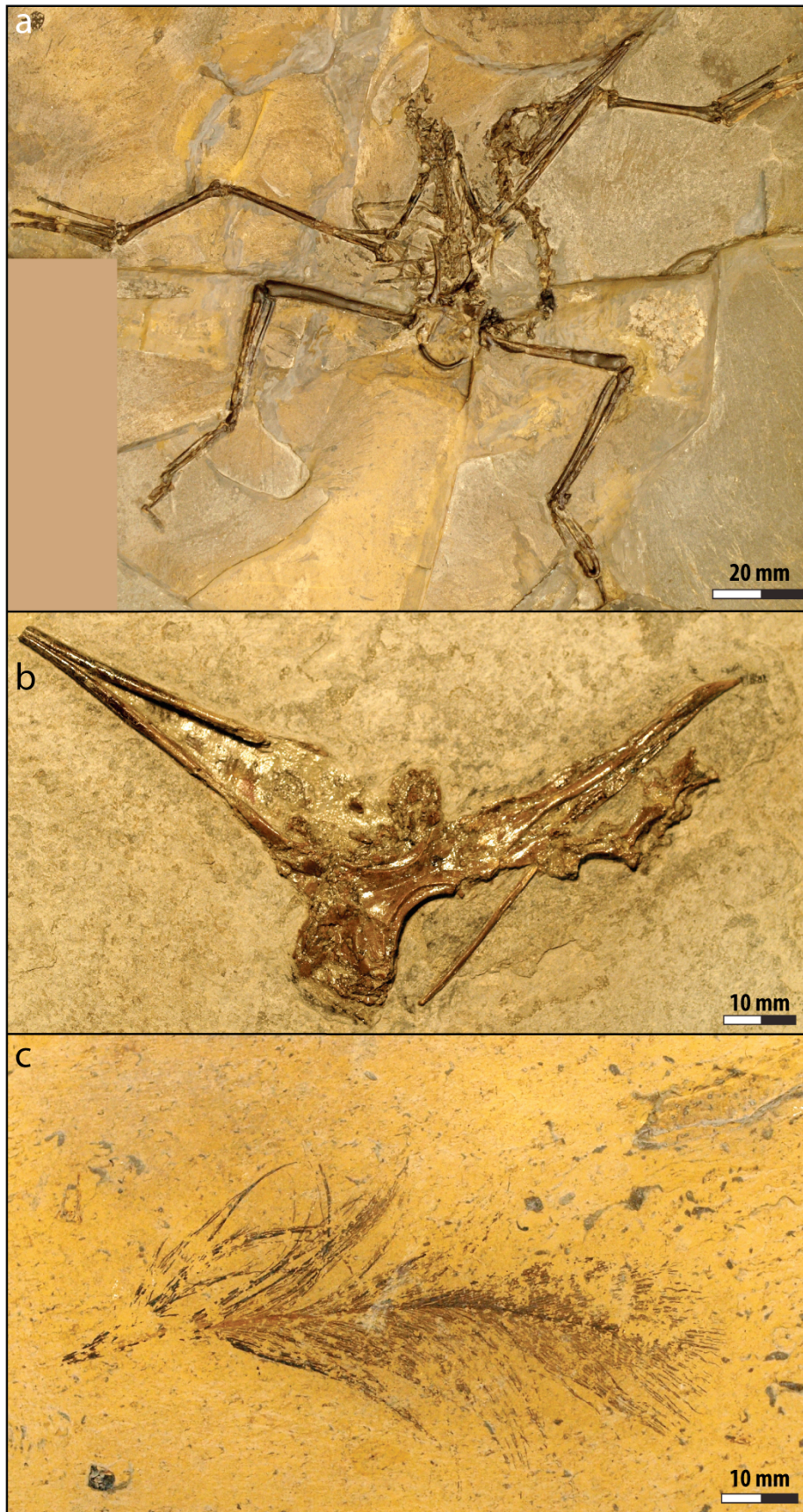


Abbildung 35: Fragmente von Hautknochenplatten eines unbestimmten Krokodils (*Crocodylia* indet., Zerfallsstufe 10, RP 01189): a. dorsal, caudal, b. ventral, c. - g. dorsal, h. unbestimmt, i. - j. dorsal, k. unbestimmt, l. dorsal, m. unbestimmt.

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG



Tafel 19: Beispiele für die Zerfallsstufen der Vögel (Aves): a. *Rupelornis brodkorbi* CHENEVAL 1995, Zerfallsstufe 3 (SMF-Av 520), b. *Procellariformes* indet., Schädel, Zerfallsstufe 7 (SMNS ohne Sammlungsnummer), c. *Aves* indet., Feder, Zerfallsstufe 10 (SMF-Av 522).

4.6.4. Taphonomische und paläoökologische Interpretationen

Der Großteil der Landwirbeltiere (Tetrapoda) ist als Primärfragmente überliefert. Die Zerfallsstufen 4 und 10 sind am häufigsten (vgl. Diagr. 32). Das häufige Fehlen von Extremitäten und Schädeln sowie die hohe Abundanz von isolierten Körperteilen geht vermutlich auch in diesem Fall auf lange Driftzeiten an der Wasseroberfläche zurück (IFRIM et al. 2005, REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Ein hohes Aufkommen von Aasfressern nicht anzunehmen, da Fraßspuren nicht belegt sind (vgl. Kap. 4.5.5.).

Schildkröten (*Testudinata*): 92,9 % der überlieferten Schildkrötenreste stammen von Meeresschildkröten (*Cheloniidae*). Rezente Meeresschildkröten leben weltweit in subtropischen und tropischen Meeren. Die Jungtiere ernähren sich oft carnivor, unter anderem auch von Fischeiern, und die adulten Tiere ernähren sich sowohl carnivor als auch herbivor von Seegrasgewächsen (*Zosteraceae*; WESTHEIDE & RIEGER 2009).

Seegraswiesen an der Uferzone des Rupelmeeres wären daher ein ideales Habitat für juvenile und adulte Meeresschildkröten gewesen (vgl. Kap. 4.1.4.). Die zum Fischeisenerosion der Bodenheimer-Formation zeitgleich abgelagerten Strandsande der Alzey-Formation des Mainzer Beckens könnten von den rupelischen Meeresschildkröten (*Cheloniidae*) zur Eiablage genutzt worden sein (GRIMM et al. 2010; vgl. Abb. 1).

Nach dem Tod einer Schildkröte (*Testudinata*) sinkt der Kadaver aufgrund der hohen Körperdichte auf den Meeresgrund (REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Liegt der Kadaver mit der Ventralseite in einem Flachwasserbereich auf dem Meeresboden, können die entstehenden Fäulnisgase im Bauchraum, die sich unter dem Rückpanzer (*Carapax*) sammeln, für einen Auftrieb an die Wasseroberfläche sorgen (BRAND et al. 2003, REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Auch hier muss angenommen werden, dass dafür eine Wassertiefe von weit weniger als 50 m erforderlich war (REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Nach einem Auftreiben an die Wasseroberfläche können Schildkrötenkadaver zwei bis zehn Wochen driften (BRAND et al. 2003). Kopf und Extremitäten fallen während dieser Driftzeit durch einen Zerfall der Weichteile zügig ab (BRAND et al. 2003). Durch die fortschreitende Zersetzung des Weichteilgewebes gelangt Wasser in den Panzer und ein schnelles Absinken wird begünstigt. Die Panzer und Panzerfragmente der Schildkröten (*Testudinata*), welche signifikant häufiger sind als Ganzkörperfossilien, sind auch auf das hohe Erhaltungspotential dieser Struktur zurückzuführen (BRAND et al. 2003; vgl. Tafel 18).

Das Individuum einer vollständig artikulierten Meeresschildkröte (*Cheloniidae*) ist wahrscheinlich auch in Zeiten eines höheren Wasserstandes (≥ 50 m) in den Wasserschichten über dem Ablagerungsbereich umgekommen und in diesen abgesunken (vgl. Kap. 4.4.4., Tafel 5 a). Der hohe hydrostatische Druck verhinderte ein erneutes Auftreiben durch Fäulnisgase und das fehlende

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Benthos eine Zersetzung (vgl. Kap. 4.2.4., 4.4.4., 4.5.5.).

Nur zwei Exemplare von Weichschildkröten (Trionychidae) sind aus dem Fischschiefer bekannt (7,1 %; vgl. Kap. 4.6.2.). Dass sich die Weichschildkröten (Trionychidae) im Ablagerungsbereich aufgehalten haben, ist höchst unwahrscheinlich. Die fragmentarische Erhaltung der beiden Exemplare von Süßwasserschildkröten deutet tendenziell auf längere Driftzeiten hin (vgl. Tafel 18 b) und es sind ähnliche biostratinomische Prozesse wie für den Großteil der Meeresschildkröten (Cheloniidae) anzunehmen.

Krokodile (Crocodylia): Die Gattung oder Art des Krokodils (Crocodylia) ist nicht bekannt und damit ist nicht nachvollziehbar, ob der Ablagerungsbereich oder die Seegraswiesen ein geeignetes Habitat für diese Art gewesen wäre (vgl. Kap. 4.6.2.). Die fragmentierten Hautknochenplatten könnten ein weiterer Hinweis für lange Driftzeiten sein. Falls das Tier in einem Bereich mit einer Wassertiefe von weniger als 50 m umkommt, treiben tote Krokodile (Crocodylia) bis zu 20 Tage mit der Ventralseite nach oben an der Wasseroberfläche (REISDORF et al. 2012, SIME & SALISBURY 2014; vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Währenddessen lösen sich durch die fortschreitende Verwesung Körperteile, wie z. B. Extremitäten und Hautknochenplatten, aus dem Körperverein. Aus dem Fischschiefer sind aber keine weiteren Funde, wie z. B. Extremitäten bekannt, die diese Vermutung untermauern würden. Möglicherweise stammen die Hautknochenplatten auch von einem Kadaver, welcher am Ufer oder im Hinterland durch einen Transport über Flusssysteme in den marinen Ablagerungsbereich gelangte (FREY et al. 2010; vgl. z. B. Kap. 3.5., 4.5.5.). Allerdings ist es wegen des hohen Fragmentierungsgrades der Hautknochenplatten nicht mehr festzustellen, ob die Beschädigungen tatsächlich von einem Transport stammen (vgl. Abb. 35).

Vögel (Aves): Innerhalb der Vögel ist überraschenderweise die Diversität der landbewohnenden Taxa (Trochilidae, Turnicidae, Coliidae, Trogonidae, Todidae, Picidae, Passeriformes) höher als jene der Wasservögel (Gaviidae, Diomedoididae). Dagegen sind Fossilien von Wasservögeln häufiger (vgl. Kap. 4.6.2.).

Rezente Seetaucher (Gaviidae) verbringen ihr ganzes Leben auf dem oder in der Nähe von Wasser und ernähren sich hauptsächlich von Fischen. Dies gilt auch für rezente Sturmvögel (Procellariidae), die den Großteil ihres Lebens auf hoher See verbringen und dort auf Nahrungssuche gehen. Bei der Jagd nach Fischen tauchen sie bis zu 75 m tief (BROOKE 2004). Einzelne Tiere können im Zuge dessen verunglücken und ertrinken. Das Luftsacksystem der Vögel (Aves) dürfte für einen Auftriebeffekt gesorgt haben – wie die Schwimmblase vieler Fischarten (vgl. Kap. 4.4.5.). Dadurch erfuhren auch diese Kadaver, unabhängig von der Wassertiefe, lange Driftzeiten und einen graduellen Zerfall (WESTHEIDE & RIEDER 2009; vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Da die oberen Wasserschichten des Ablagerungsbereiches wahrscheinlich zumindest gelegentlich von Heringen

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

(Clupeidae) und anderen pelagisch lebenden Knochenfischen (Teleostei) durchschwommen wurden (vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.), könnten sich die Wasservögel womöglich auch in dieser Zeit direkt auf oder über der Wassersäule des Ablagerungsbereiches aufgehalten haben.

Busch- und Baumbewohner, wie z. B. Mausvögel (Coliidae) oder Laufhühner (Turnicidae), können hingegen nur durch starke ablandige Winde oder Überflutungen auf die Wasseroberfläche über dem Ablagerungsbereich gelangt sein. Lange Driftzeiten bewirkten auch hier die Einbettung von fragmentierten Ganzkörpern, isolierten Körperteilen und Einzelementen.

Rezente Kolibris leben heute in fast allen Klimazonen auf dem gesamten amerikanischen Kontinent, außer in den subpolaren und polaren Gebieten, und ernähren sich fast ausschließlich von Blütennektar (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Der jamaikanische Kolibri *Trochilus polytmus* hält sich beispielsweise bevorzugt auf Meereshöhe in Küstengebieten auf (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Womöglich bevorzugte *Eurotrochilus inexpectatus* MAYR 2004 einen ähnlichen Lebensraum und dies erklärt die überdurchschnittliche Häufigkeit von vier Exemplaren (vgl. Kap. 4.6.2).

Säugetiere (Mammalia): Die Fledermaus (Microchiroptera) wurde vermutlich durch starke ablandige Winde auf das offene Meer hinausgetragen (vgl. Kap. 3.5.). Nach einem Absturz ist das Tier wahrscheinlich ertrunken. Das stark disartikulierte Ganzkörperfossil spricht für eine relativ kurze Drift- und eine lange Liegezeit auf dem Meeresboden vor der vollständigen Einbettung im Faulschlamm (vgl. Kap. 3.5.). Womöglich stammt die Fledermaus aus Schichten, die unter oxischen Bedingungen abgelagert wurden (vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Da es sich um ein Sammlungsexemplar handelt, ist die Fundschicht unbekannt (vgl. Kap. 2.1.)

Die rezente Gabelschwanzseekuh *Dugong dugong* STATIUS MÜLLER 1776 lebt heute in tropischen Küstengebieten (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Dort weidet sie weitgehend standorttreu in einer Wassertiefe von zwei bis sechs Metern in Seegraswiesen. Ihre Weidespuren wurden aber auch schon in bis zu 20 m Wassertiefe gefunden (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Seekühe (Sirenia) haben aufgrund fehlender Osteoklasten eine verdichtete Knochensubstanz (Pachyostose), was zur Folge hat, dass die Tiere schwerer werden (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Frühere Bearbeiter schlossen aus dieser anatomischen Besonderheit, dass der Kadaver des Exemplars HLMD-WT 701 nicht lange driften konnte (SCHÖGGL & MICKLICH 2010; vgl. Tafel 5 b). Nach SCHÖGGL & MICKLICH 2010 wurde das Tier dort schnell eingebettet wo es auch gestorben ist. Dies würde voraussetzen, dass der Kadaver der Seekuh (Sirenia) in einer Wassertiefe von über 50 m auf dem Meeresboden landete (REISDORF et al. 2012; vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Allerdings fehlen bei diesem Exemplar sämtliche Extremitäten, deren Erhaltung bei einem schnellen Tod und Einbettung zu erwarten wären. Das Erhaltungsmuster spricht eher für lange Driftzeiten, wie sie auch schon für die einen Großteil der Wirbeltierfossilien im Fischschiefer als am wahrscheinlichsten angesehen

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

werden (vgl. Kap. 4.4.4., 4.5.5.). Da aber der Schädel und das Schwanzende überliefert sind, dürfte die Driftzeit nicht sehr lang gewesen sein, da diese Körperteile im späteren Verlauf auch abgefallen wären. Trotz der Pachyostose ist davon auszugehen, dass sowohl die Speckschicht als auch die dorsal gelegenen Lungen dieser Tiere grundsätzlich für einen Auftrieb und lange Driftzeiten an der Wasseroberfläche sorgten (WESTHEIDE & RIEGER 2009). Geht man noch zusätzlich davon aus, dass die Seekuh (Sirenia) in ihrem bevorzugten Habitat, also im Bereich der Seegraswiesen, umgekommen ist, begünstigte die Bildung von Fäulnisgasen und das flache Wasser wahrscheinlich ohnehin einen Auftrieb (REISDORF et al. 2012). Trotz des hohen Drift- und Fossilisationspotentials der Seekühe (Sirenia) sind diese Überreste im Fischeschiefer aber überaus selten. Daher kann ziemlich sicher davon ausgegangen werden, dass sie sich selbst in der näheren Umgebung des Ablagerungsraums nur selten oder gar nicht aufgehalten haben.

Der bereits abgetrennte Unterkiefer des Fleischzähners *Apterodon rauenbergensis* FREY et al. 2010 könnte durch einen Fluss in den Ablagerungsbereich transportiert worden sein, während der Kadaver weit landeinwärts lag. Möglich ist aber auch eine lange Liegezeit des Kadavers in Küstennähe und eine anschließende Verschleppung durch Aasfresser. Daraufhin erfolgte ein längerer Transportweg des isolierten Unterkiefers zum Ablagerungsbereich. Hinweise hierfür sind die starken Abrasionen an dem Knochen und den Zähnen (FREY et al. 2010; vgl. Tafel 5 d).

Die für den Fischeschiefer nachgewiesenen Landwirbeltiere (Tetrapoda) unterstützen das bisher gezeichnete Szenario für den Ablagerungsbereich als einen küstennahen Flachwasserbereich mit Seegraswiesen in der Umgebung (vgl. Kap. 3.5., 4.1.4., 4.2.4., 4.4.4., 4.5.5.). Seegraswiesen im östlichen Küstenbereich hätten für einige Landwirbeltiertaxa, wie z. B. Meeresschildkröten (Cheloniidae) und Gabelschwanzseekühe (Dugongidae) eine wichtige Lebensgrundlage dargestellt (vgl. Kap. 4.1.4.).

Das Vorkommen von Weichschildkröten (Trionychidae) und Krokodilen (Crocodylia) im Fischeschiefer könnte erneut als einen Hinweis auf einen Süßwassereinfluss gedeutet werden. Zwar bevorzugen beide Taxa das Süßwasser, aber einige Arten sind gelegentlich auch im Brack- oder Salzwasser zu finden, wie z. B. das Leistenkrokodil *Crocodylus porosus* SCHNEIDER 1801 und auch einige Weichschildkröten (Trionychidae). Es gibt für beide Taxa auch nur wenige fossile Belege (vgl. Kap. 4.6.2., 4.6.3.). Ein häufiges Vorkommen von Süßwasserschildkröten und Krokodilen (Crocodylia) im Ablagerungsbereich oder den umgebenden Seegraswiesen ist daher ausgeschlossen und der Süßwassereinfluss, wenn vorhanden, war weit weg vom Ablagerungsbereich (vgl. Kap. 4.1.4., 4.3.4., 4.5.5.).

Die landlebenden Vögel, die Urraubtiere (Hyaenodontidae) und die Fledermäuse (Microchiroptera) hatten ihren Lebensraum wahrscheinlich in der dichten Bewaldung im Küstengebiet der östlichen

Rupelmeerküste (vgl. Kap. 4.1.4.). Die meisten der rezenten Verwandten der landlebenden Vögel (Aves) bevorzugen subtropische und tropische Klimazonen, wie z. B. Turnicidae (Laufhühnchen), Mausvögel (Coliidae), Trogone (Trogonidae), Todi (Todidae, WESTHEIDE & RIEGER 2009). Das Vorkommen von Landwirbeltieren (Tetrapoda) im Fischeschiefer, die aus eigener Kraft oder absichtlich nicht in den Ablagerungsbereich kommen konnten, belegt erneut die küstennahe Lage des Ablagerungsbereiches (vgl. Kap. 4.1.4., 4.3.4.).

4.7. Schlussfolgerungen

Die Taphozönose des Fischeschiefers ist hochdivers, wird aber von wenigen Floren- und Faunenelementen signifikant dominiert. Insgesamt sind 22,8 % der taxonomisch untersuchten Exemplare den Pflanzen (Embryophyta), 4,4 % den Wirbellosen (Makroinvertebrata) und 72,7 % den Wirbeltieren (Vertebrata) zuzuordnen. Annähernd die Hälfte der Exemplare aus dem Fischeschiefer stammen von Seegrasgewächsen (Zosteraceae, 11,1 %), Heringen (Clupeidae, 23,3 %) und dem Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae, 12,4 %).

Lange Driftzeiten sorgten für eine hochgradige Disartikulation und Fragmentierung sowie für eine Filterung der pflanzlichen und tierischen Überreste, die schlussendlich den Ablagerungsbereich erreichte. Die Vielzahl disartikulierter Wirbeltierfossilien deutet darauf hin, dass sich nicht nur die Seegraswiesen, sondern auch der Ablagerungsbereich des Fischeschiefers zumindest zeitweise in einer Wassertiefe von weit weniger als 50 m befunden haben könnte.

Die wenigen vollständigen und artikulierten Fossilien aus dem Fischeschiefer könnten durch Kadaver, die in Wassertiefen auf dem Meeresboden aufkamen, unter welchen ein Auftrieb verhindert wurde, erklärt werden. Während hierfür bei großen Tieren, wie z. B. Seekühe (Sirenia), die Wassertiefe 50 m oder mehr betragen muss, reicht bei kleinen Tieren, wie z. B. Heringen (Clupeida), eine Wassertiefe von wenigen Dezimetern. Es wurden ein Wiederauftrieb und ein gradueller Zerfall durch Verdriften aufgrund des hohen hydrostatischen Druckes verhindert (REISDORF et al. 2012). Insgesamt unterstützt das Erhaltungsmuster der Wirbeltierfossilien die Annahme aus Kap. 3.5., dass der Ablagerungsbereich des Fischeschiefers im Bereich der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ Meeresspiegelschwankungen unterlegen war.

Während die sauerstoffarme Zone über dem Meeresboden nur einige 100 mm mächtig gewesen sein könnte (HOVESTADT et al. 2010, MICKLICH et al. 2016), könnte das Oberflächenwasser des Ablagerungsbereiches zumindest zeitweise sauerstoffreich gewesen sein. Für die bisher rekonstruierten taphonomischen Prozesse und paläoökologischen Bedingungen des Ablagerungsbereiches würde auch eine sehr geringmächtige sauerstoffarme Zone über dem

4. DIE FOSSILIENVERGESELLSCHAFTUNG

Meeresboden ausreichen. Dies würde es wiederum pelagischen Arten möglich machen, die oberen, sauerstoffhaltigen Wasserschichten über dem Ablagerungsbereich zu durchschwimmen und zumindest zum Laichen in die Seegraswiesen zu gelangen, vorausgesetzt das Wasser war tief genug. Die bisherigen sedimentologischen und taphonomischen Ergebnisse zeichnen ein Bild von einem lebensfeindlichen, hypoxischen bis anoxischen Ablagerungsbereich, der meist in einer Wassertiefe von wenigen Metern lag. In der näheren Umgebung des Ablagerungsbereiches existierten Seegraswiesen und Algengürtel, die ebenfalls in einer Wassertiefe von maximal 20 Metern lagen. Dieser lebensfreundliche Bereich bot Lebensraum für viele Tierarten. Die Uferzone am östlichen Rand der Rupelmeerküste im Bereich der Tongrube könnte von einem sumpftartigen Gebiet geprägt gewesen sein, welches unter einem marinen Einfluss stand.

Es gibt also insgesamt Hinweise dafür, dass der Ablagerungsbereich des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ tatsächlich eine Bucht im Rupelmeer darstellte, wie von MICKLICH 1998 im Rahmen seiner der „*Flachwasser-Hypothese*“ angenommen (vgl. Kap. 3.5., 7.1.). Allerdings war der Ablagerungsbereich selbst, wie von MICKLICH (1998) dargestellt, kein lebensfreundlicher Bereich.

5. Vertikale Häufigkeitsverteilung der Fossilien im Profil der Tongrube Unterfeld

5.1. Pflanzen (Embryophyta)

Pflanzenfossilien wurden in allen Schichten nachgewiesen. Die stratigraphische Häufigkeitsverteilung der Pflanzenreste belegt signifikante Spitzen in den Schichten 7 bis 14 und 23 bis 29 (vgl. Diagr. 33 bis 35, Tab. 38, 39/Anhang).

5.1.1. Algen (Phycophyta)

Fragmente von unbestimmten Algen (Phycophyta indet.) kommen in den Schichten 2, 4, 5, 8, 9, 13, 20, 22 bis 33, 35, 46 und 38 bis 41 vor (Diagr. 33, vgl. Kap. 4.1.3., 4.1.3.). Sie zeigen in den Schichten 26 bis 28 signifikante Spitzen. In diesen Schichten kamen bis zu 3,5 Algenfragmente pro Quadratmeter vor. Im Durchschnitt lag die Funddichte aber bei weniger einem Fragment pro Quadratmeter (Tab. 38, 39/Anhang).

5.1.2. Seegrasgewächse (Zosteraceae)

Der Großteil aller Pflanzenfossilien sind Fragmente von Seegrasgewächsen (Zosteraceae indet.; vgl. Kap. 4.1.2., 4.1.3.). Diese Fragmente kommen mit Ausnahme der Schichten 3, 4, 7, 37, 38 und 41 im gesamten Profil vor (Diagr. 34). Sie treten durchschnittlich mit 8,5 Exemplaren pro Quadratmeter auf. In den Schichten 12 und 24 wurden mit 45 Fragmenten pro Quadratmeter die höchsten Spitzen nachgewiesen (Tab. 38, 39/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

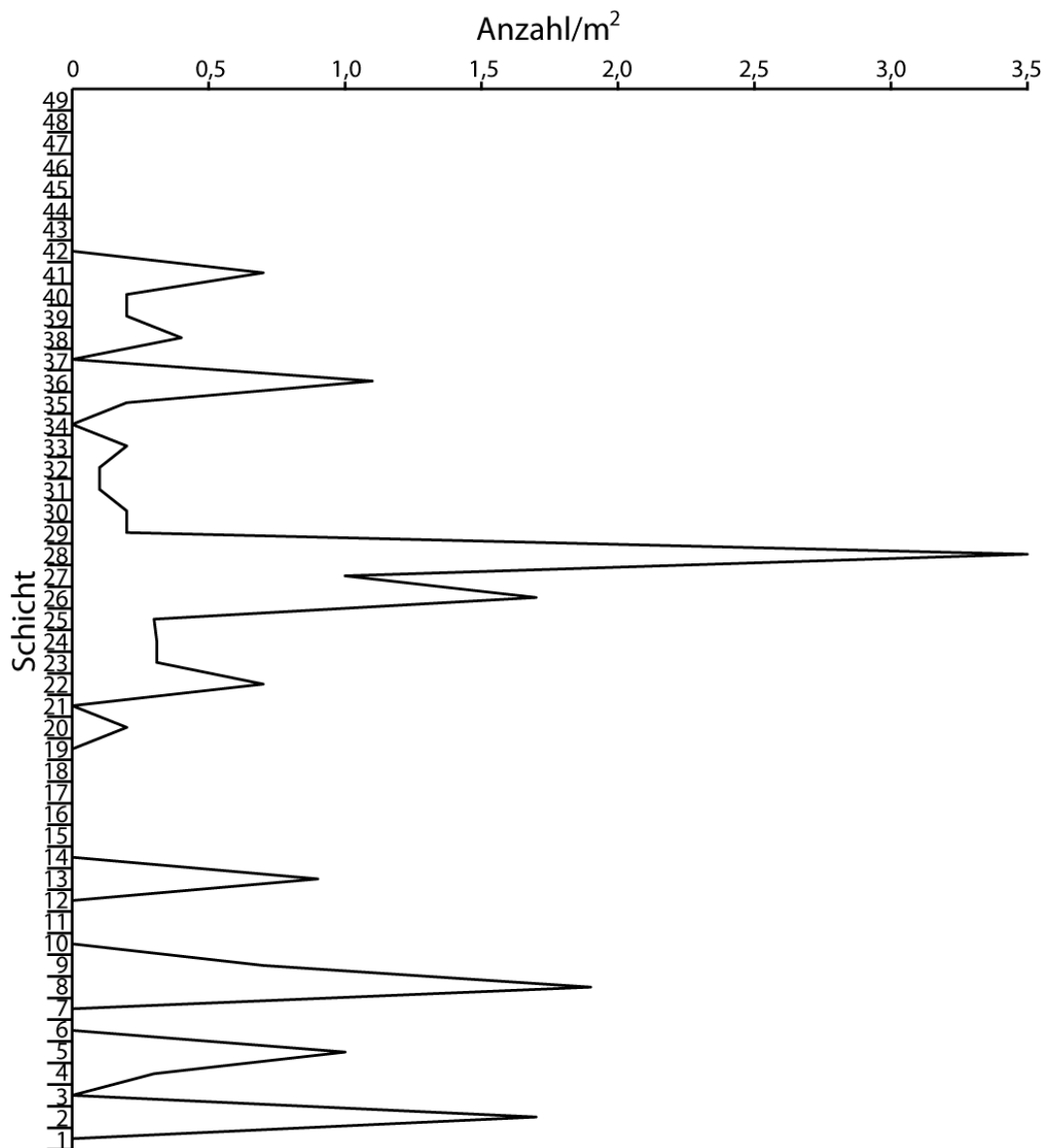


Diagramm 33: Vertikale Häufigkeitsverteilung von unbestimmten Algen (Phycophyta indet.).

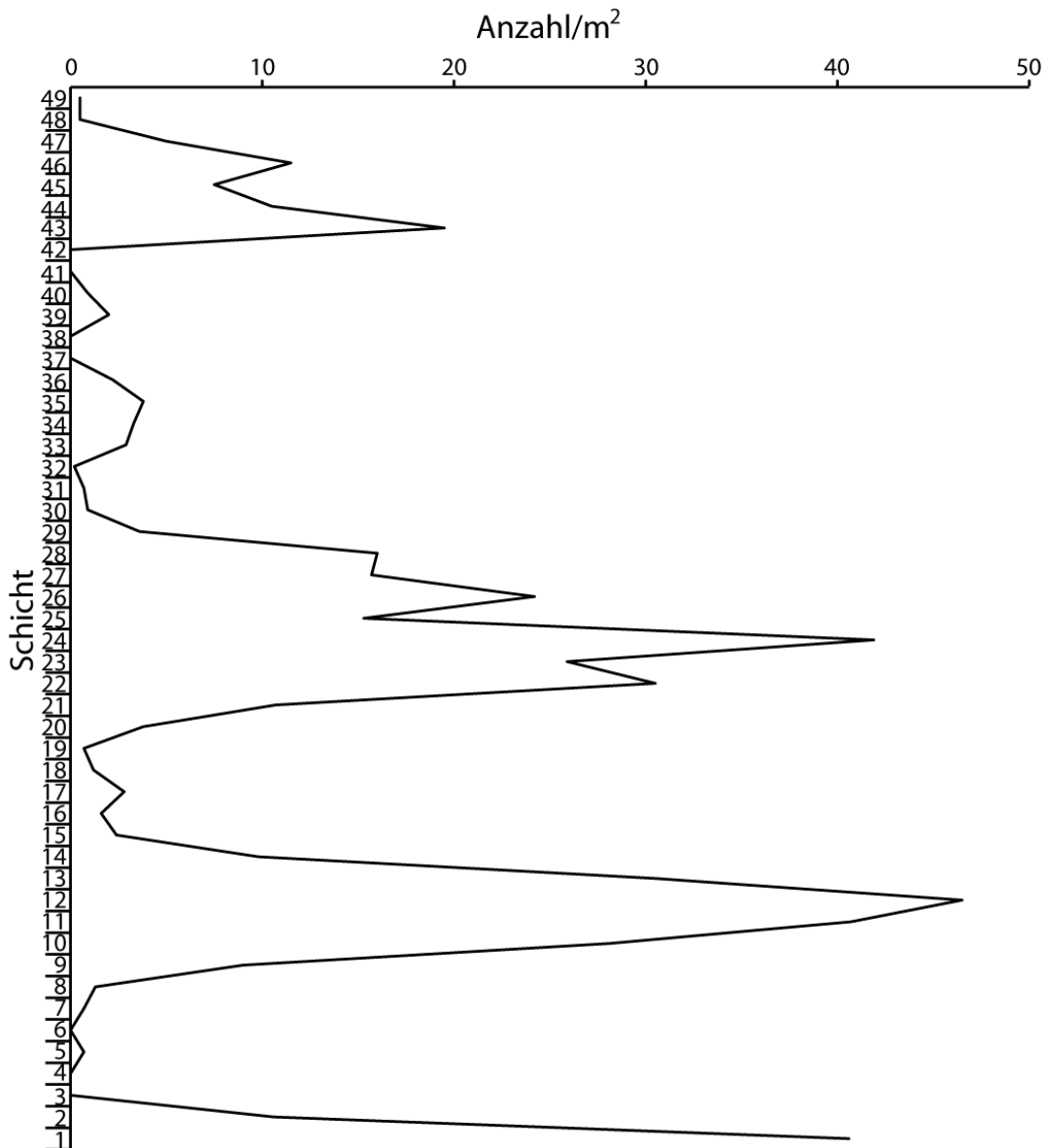


Diagramm 34: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Seegrassgewächse (*Zosteraceae* indet.).

5.1.3. Landpflanzen

Nadelgehölze (*Coniferopsida*): Überreste von Nadelgehölzen (*Coniferopsida*) sind selten und treten nur vereinzelt im Profil auf (Diagr. 35, Tab. 38/Anhang). Es handelt sich hierbei meist um Nadelblätter und deren Fragmente (*Coniferopsida* indet.; vgl. Kap. 4.1.3.). Seltener sind Früchte, welche allesamt von dem Zypressengewächs *Tetraclinis* sp. (*Cupressaceae*) stammen (vgl. Tab. 39/Anhang).

Insgesamt zeigen die Überreste von Nadelgehölzen (*Coniferopsida*) in den Schichten 8, 9 und 24 signifikante Spitzen. In diesen Schichten kamen bis zu 2,5 Fragmente pro Quadratmeter vor. In den übrigen Schichten wurden sie im Durchschnitt mit 0,3 Überresten pro Quadratmeter nachgewiesen (Tab. 38, 39/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

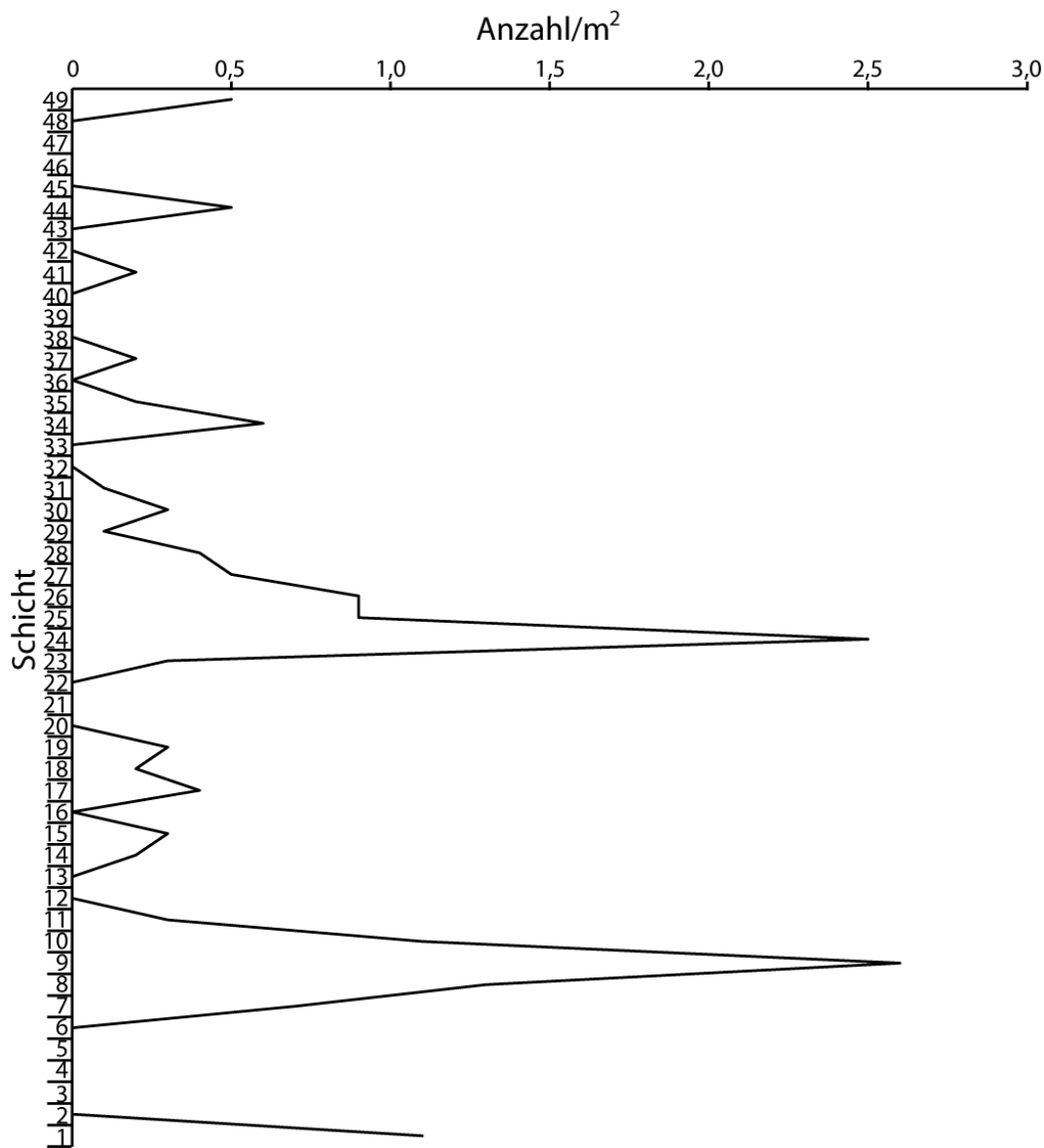


Diagramm 35: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Nadelgehölze (Coniferopsida).

Blütenpflanzen (Magnoliopsida): Überreste von terrestrischen Blütenpflanzen (Magnoliopsida) kommen unregelmäßig im Profil vor (Diagr. 36). Es handelt sich meistens um fragmentierte Laubblätter, seltener sind Früchte. Letztere wurden nur in den Schichten 1, 10, 11 und 18 nachgewiesen (Tab. 39/Anhang). Am häufigsten sind die Überreste von terrestrischen Blütenpflanzen (Magnoliopsida) in den Schichten 9 bis 11. In diesem Bereich traten bis zu sieben Fragmente pro Quadratmeter auf, durchschnittlich waren es 1,7. Die Diversität ist in den Schichten 24 bis 31 am höchsten. Neben nicht näher bestimmbaren Blütenpflanzen (Magnoliopsida indet.), Lorbeergewächsen (Lauraceae) und Weidengewächsen (Salicaceae) kommen hier außerdem Palmenartige (Arecales), Platanengewächse (Platanaceae) und Gagelstrauchgewächse (Myriaceae) vor. Walnussgewächse (Juglandaceae) wurden lediglich in Schicht 41 aufgefunden.

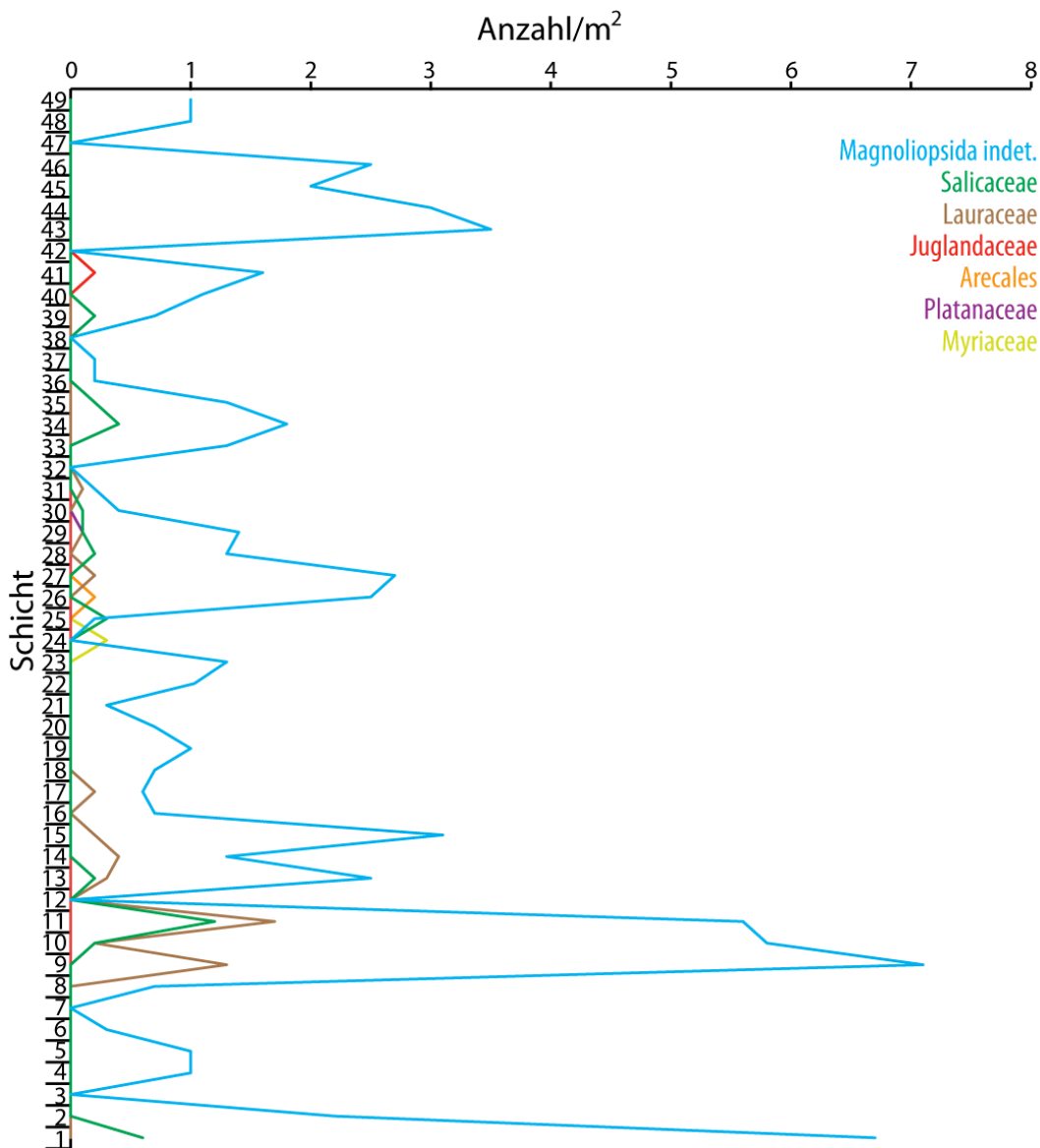


Diagramm 36: Vertikale Häufigkeitsverteilung terrestrischer Blütenpflanzen (Magnoliopsida).

5.1.4. Holzreste, unbestimmbare Fragmente und Pflanzenhäcksel-Horizonte

Holzreste wurden in allen Schichten nachgewiesen und sind in der Schicht 28 mit 32,3 Fragmenten pro Quadratmeter am häufigsten (Diagr. 37, Tab. 39/Anhang). Der Durchschnitt liegt bei 11,5 Fragmenten pro m Quadratmeter.

Nicht näher bestimmbare Fragmente von Pflanzen wurden mit durchschnittlich 22,5 Exemplaren pro Quadratmeter ebenfalls in allen Schichten aufgefunden (Tab. 39/Anhang). Die Abundanz dieser Fragmente ist in Schicht 9 mit 102,6 Exemplaren pro Quadratmeter am höchsten (Diagr. 37).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

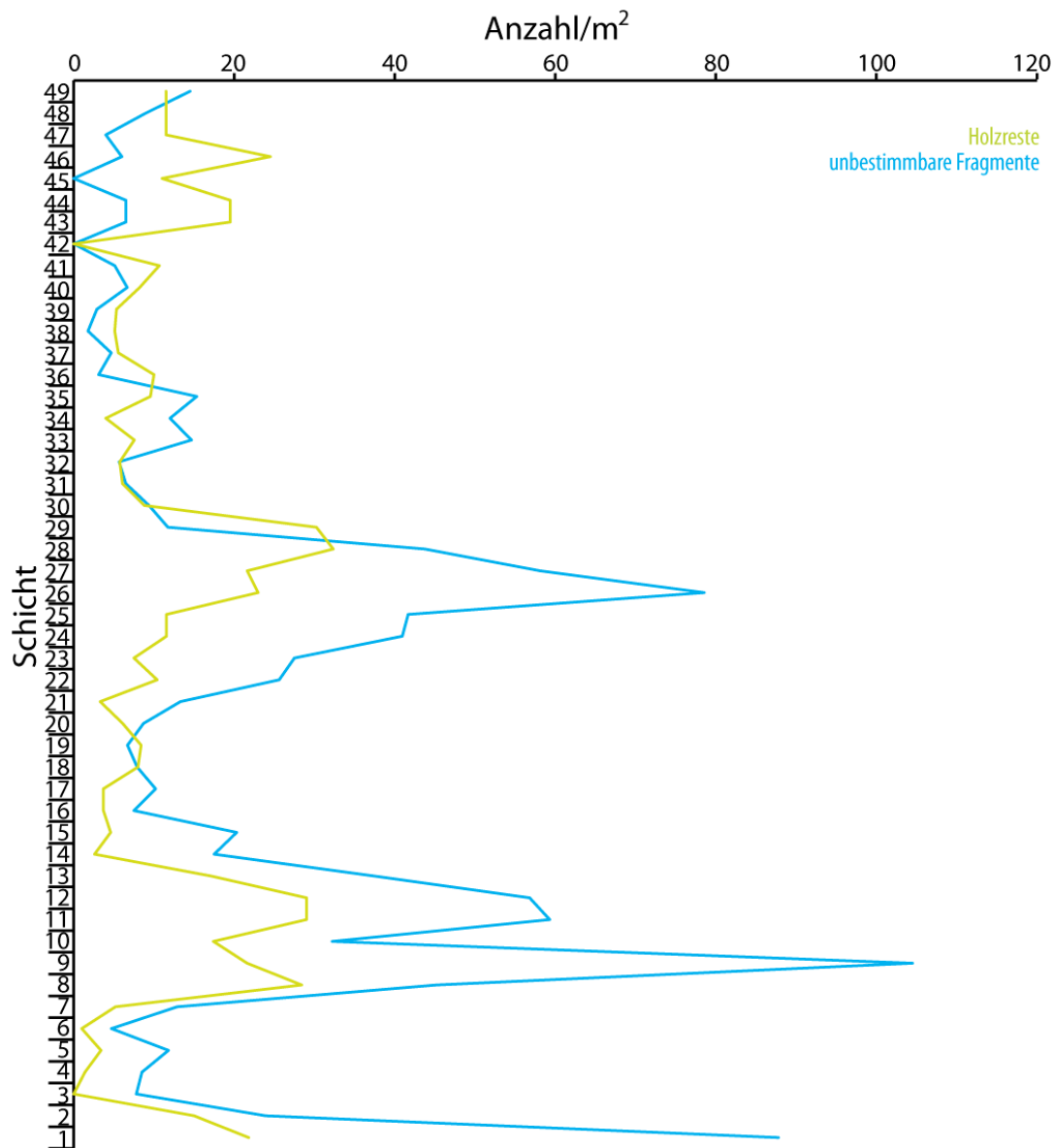


Diagramm 37: Vertikale Häufigkeitsverteilung der unbestimmbaren Fragmente und Holzreste.

Pflanzenhäcksel-Horizonte sind Schichtflächen mit massenhaft auftretenden zerkleinerten Pflanzenresten, überwiegend Blättern. Diese wurden in den Schichten 3, 8 bis 11, 14, 33, 36 bis 38, 40 und 43 bis 46 registriert. Sie fehlen im mittleren Bereich des Profils, treten aber an der Basis und am Top der Abfolge regelmäßig auf (Diagr. 38).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

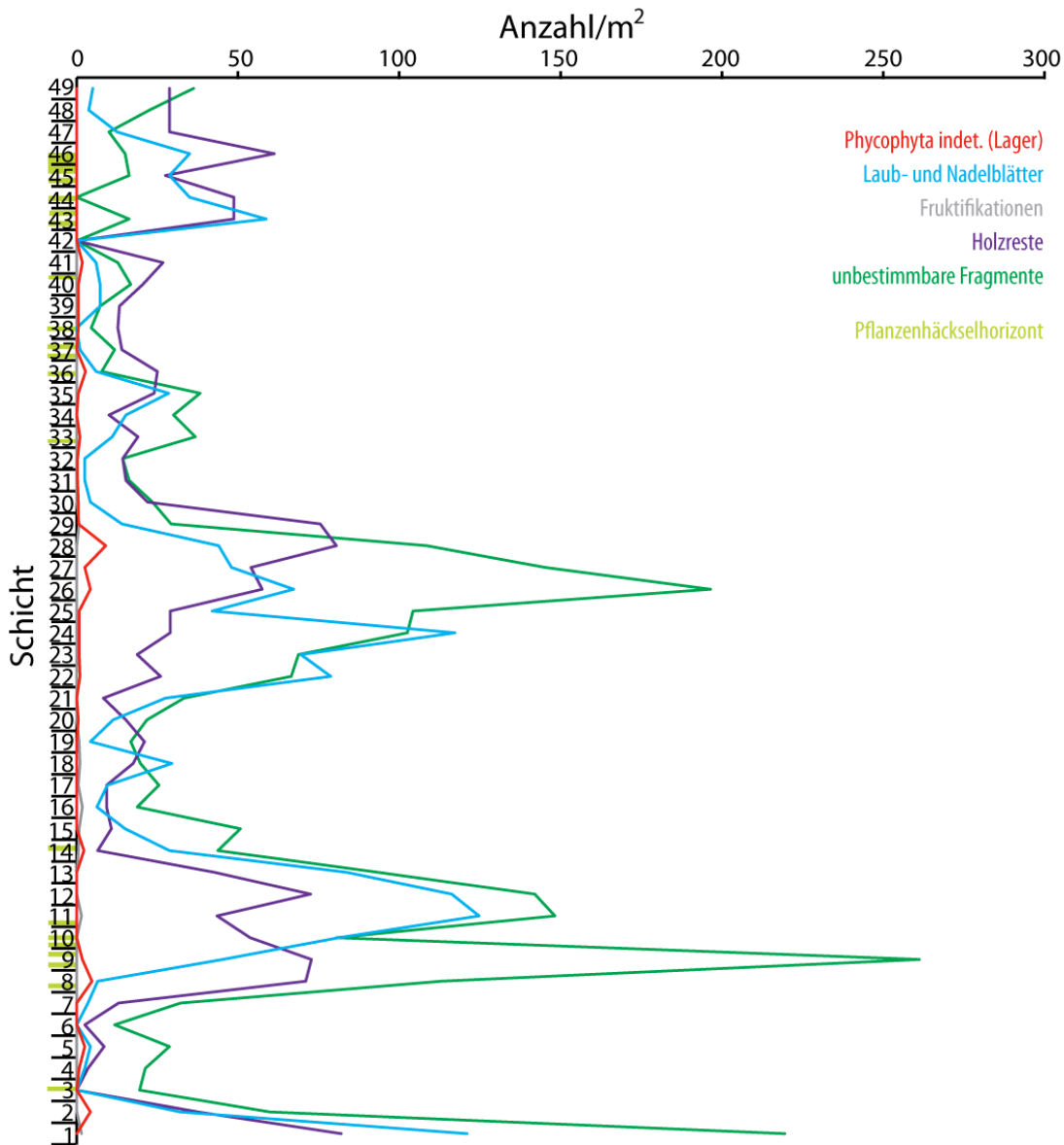


Diagramm 38: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Pflanzenhäcksel-Horizonte im Vergleich zu den Häufigkeitsverteilungen von anderen Pflanzenresten.

5.1.5. Vergleich und paläoökologische Interpretationen

Am häufigsten wurden die Reste von Algen (Phycophyta) in den laminierten Schichten 1, 2 und 26 bis 28 gefunden. In den ungeschichteten Schichten 8 und 9 wurden sie ebenfalls vermehrt nachgewiesen (vgl. Diagr. 1, 33, vgl. Kap. 3.5.).

Auch Seegrasgewächse (Zosteraceae) sind sowohl in laminierten als auch in ungeschichteten Schichten häufig, wie z. B. in den Schichten 1, 2, 10 bis 13, 21 bis 28 und 43 bis 47 (vgl. Diagr. 1, 34). Mit Ausnahme der Schichten 1 und 2 korrelieren die Funde der Seegrasgewächse (Zosteraceae) mit denjenigen von Kiemenreusendornen der Riesenhais *Keasius* (Cetorhinidae; vgl. Diagr. 2, 34), aber auch mit denjenigen von Algen (Phycophyta), wie z. B. in den Schichten 1, 2 und 26 bis 28

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

(vgl. Diagr. 33, 34).

Überreste von Landpflanzen (Coniferopsida und Magnoliopsida) haben korrelierende Spitzen in den laminierten und ungeschichteten Schichten 1, 8 bis 11 und 24. Die Blütenpflanzen (Magnoliopsida) haben noch zusätzliche Spitzen in den Schichten 43 bis 46 (vgl. Diagr. 35, 36). Blütenpflanzen (Magnoliopsida) sind nur noch in Schicht 9 häufiger (vgl. Diagr. 36). Die erhöhte Diversität der terrestrischen Blütenpflanzen in den Schichten 24 bis 31 ist darauf zurückzuführen, dass die Blätter in diesen Profilabschnitten besser erhalten waren und sich dadurch leichter einem Taxon zuordnen ließen (vgl. Diagr. 36, vgl. Kap. 5.1.3.). Der Eintrag der Nadelgehölze (Coniferopsida) korreliert in den Schichten 8 bis 10 und 24 mit demjenigen von Algen (Phycophyta) und Seegrasgewächsen (Zosteraceae; vgl. Diagr. 34, 35).

Die Verteilung der Holzreste und unbestimmbaren Pflanzenfragmente korreliert wiederum mit denjenigen der Algen (Phycophyta) und Seegrasgewächsen (Zosteraceae) in den Schichten 1, 2, 8 bis 13 und 21 bis 28 (vgl. Diagr. 33, 34, 37).

Pflanzenhäcksels-Horizonte wurden sowohl in laminierten als auch in massigen Schichten nachgewiesen. Während das Vorkommen der Pflanzenhäcksels-Horizonte in den Schichten 8 bis 13 mit der höchsten Abundanz von Algen (Phycophyta) und Seegrasgewächsen (Zosteraceae) korreliert, fehlen sie in den Schichten 1, 2 und 21 bis 28 (vgl. Diagr. 38).

Mit Ausnahme der bestimmbaren Blätter von Blütenpflanzen (Magnoliopsida) haben die botanischen Überreste korrelierende Häufigkeitsverteilungen. Die bestimmbaren Blätter von Blütenpflanzen (Magnoliopsida) stellen wahrscheinlich nur einen kleinen Teil des Eintrages von terrestrischem Blattmaterial dar (vgl. Kap. 4.1.4.). Die meisten Nadel- und Laubblätter liegen als unbestimmbare Fragmente vor und wurden in Pflanzenhäcksels-Horizonten abgelagert. Die unregelmäßige Häufigkeitsverteilung der bestimmbaren Laubblätter ist dagegen vermutlich ein Hinweis darauf, dass ihr Eintrag äolisch über kurze Transportwege erfolgte (vgl. Diagr. 36).

Der Eintrag der übrigen botanischen Überreste, welche korrelierende Häufigkeitsverteilungen mit Spitzen in den Schichten 1, 2, 8 bis 13, 22 bis 28 und 43 bis 49 aufweisen, wurde wahrscheinlich durch wiederholte Umweltveränderungen gesteuert (vgl. Kap. 4.1.4.). Hierbei handelt es sich sowohl um marine als auch um terrestrische Pflanzenreste: die vollmarinen Algen (Phycophyta) und Seegrasgewächse (Zosteraceae), die unbestimmbaren Pflanzenfragmente von marinen und terrestrischen Pflanzen sowie Nadelgehölze (Coniferopsida) und Holzfragmente, welche ausschließlich terrestrischer Herkunft sind (vgl. Kap. 4.1.2.). Der hohe Anteil an marinen Pflanzen setzt voraus, dass der Transport auch hauptsächlich über marine Wege erfolgte. Dies unterstützt die Annahme aus Kap. 4.1.4., dass die Uferzone des östlichen Ruppelmeeres im Bereich der Tongrube Unterfeld von einem Sumpfgebiet mit brackwassertoleranten Pflanzen (Embryophyta) geprägt

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

gewesen sein könnte (vgl. Kap. 4.1.4.). Dann wäre es möglich, dass durch marine Überflutungen Bodenstreu aus dem Sumpfgebiet zusammen mit den Algen- und Seegrasresten aus der Uferzone in den Ablagerungsbereich eingeschwemmt wurde (vgl. Kap. 4.1.4., 4.6.4.). Das würde dann bedeuten, dass die Seegraswiesen zwischen dem Ablagerungsbereich der Tongrube Unterfeld und der Uferzone gelegen haben müssten (vgl. Kap. 7). Sonst wäre der gemeinsame, wiederholte Eintrag nicht zu erklären.

Die laminierten Schichten 1, 2 und 21 bis 28 mit der höchsten Abundanz von botanischen Resten wurden wahrscheinlich unterhalb der SWB abgelagert (vgl. Kap. 3.5., 4.7., Diagr. 1, 33 bis 38). Durch einen hohen Stand des Meeresspiegels könnte zu dieser Zeit eine marine Verbindung zwischen dem Ablagerungsbereich, den Seegraswiesen und dem Sumpfgebiet bestanden haben. Die anoxischen Bedingungen am Meeresboden verhinderten eine Zersetzung des angekommen Pflanzenmaterials, das bereits beim Transport ins Liefergebiet zerkleinert worden war (vgl. Kap. 3.5., 4.1.4.). Eingewehte Laubblätter wurden durch den äolischen Transport weniger fragmentiert und wurden annähernd unversehrt in den Schichten 24 bis 28 überliefert (vgl. Diagr. 36).

Die Wechsellagerung von laminierten und ungeschichteten Lagen in den Schichten 8 bis 13 und 43 bis 49, die sich ebenfalls durch eine erhöhte Abundanz von botanischen Resten auszeichnen, dürfte unter einem ähnlichen Meeresspiegelstand wie die Schichten 1, 2 und 21 bis 28 abgelagert worden sein (vgl. Kap. 3.5.). Die wenigen Einschaltungen von ungeschichteten Lagen in diesem Profilbereich sind möglicherweise auf tiefgreifende Sturmereignisse zurückzuführen, welche das Sediment verwirbelt haben (vgl. Kap. 3.5.). Es ist möglich, dass auch zur Ablagerungszeit der Schichten 1 und 2 sowie 21 bis 28 Sturmereignisse stattgefunden haben, welche den Meeresboden erreicht haben. In diesem Fall wurden die Sturmablagerungen jedoch nicht überliefert. Durch die belegten Sturmereignisse in den Schichten 8 bis 13 und 43 bis 49 hat sich der äolische, pflanzliche Eintrag in den küstennahen Ablagerungsbereich womöglich zusätzlich erhöht. Dies wird durch eine erhöhte Abundanz von Überresten der Nadelgehölze (Coniferopsida) und Blütenpflanzen (Magnoliopsida) sichtbar (vgl. Diagr. 35, 36, vgl. Kap. 4.7.).

Die Schichten 3 bis 7, 14 bis 20 und 29 bis 41 wurden möglicherweise unter Bedingungen abgelagert, unter welchen die marine Verbindung zwischen dem Ablagerungsraum, den Seegraswiesen und dem litoralen Sumpfgebiet stark eingeschränkt oder ganz unterbrochen war, so dass sich der Eintrag von dort signifikant verringerte (vgl. Diagr. 33 bis 38). Es handelt sich hierbei größtenteils um laminierte Schichten (vgl. Kap. 3.5.). Auch hier ist es möglich, dass Sturmablagerungen in diesen Profilbereichen fehlen.

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

5.2. Wirbellose (Makroinvertebrata)

Funde von Wirbellosen (Makroinvertebrata) sind sehr selten und kommen nur in den Schichten 8, 9, 13, 14, 18, 19, 22, 26 bis 29, 34 und 35 vor (Tab. 38, 40/Anhang).

5.2.1. Weichtiere (Mollusca)

Schnecken (Gastropoda) treten in den Schichten 18 und 19, Muscheln (Bivalvia) in den Schichten 9, 13, 14, 22 und 26 auf (Diagr. 39). Beide Gruppen sind ausschließlich durch fragmentierte Aragonit- und Kalzitgehäuse belegt (vgl. Kap. 4.2.3.).

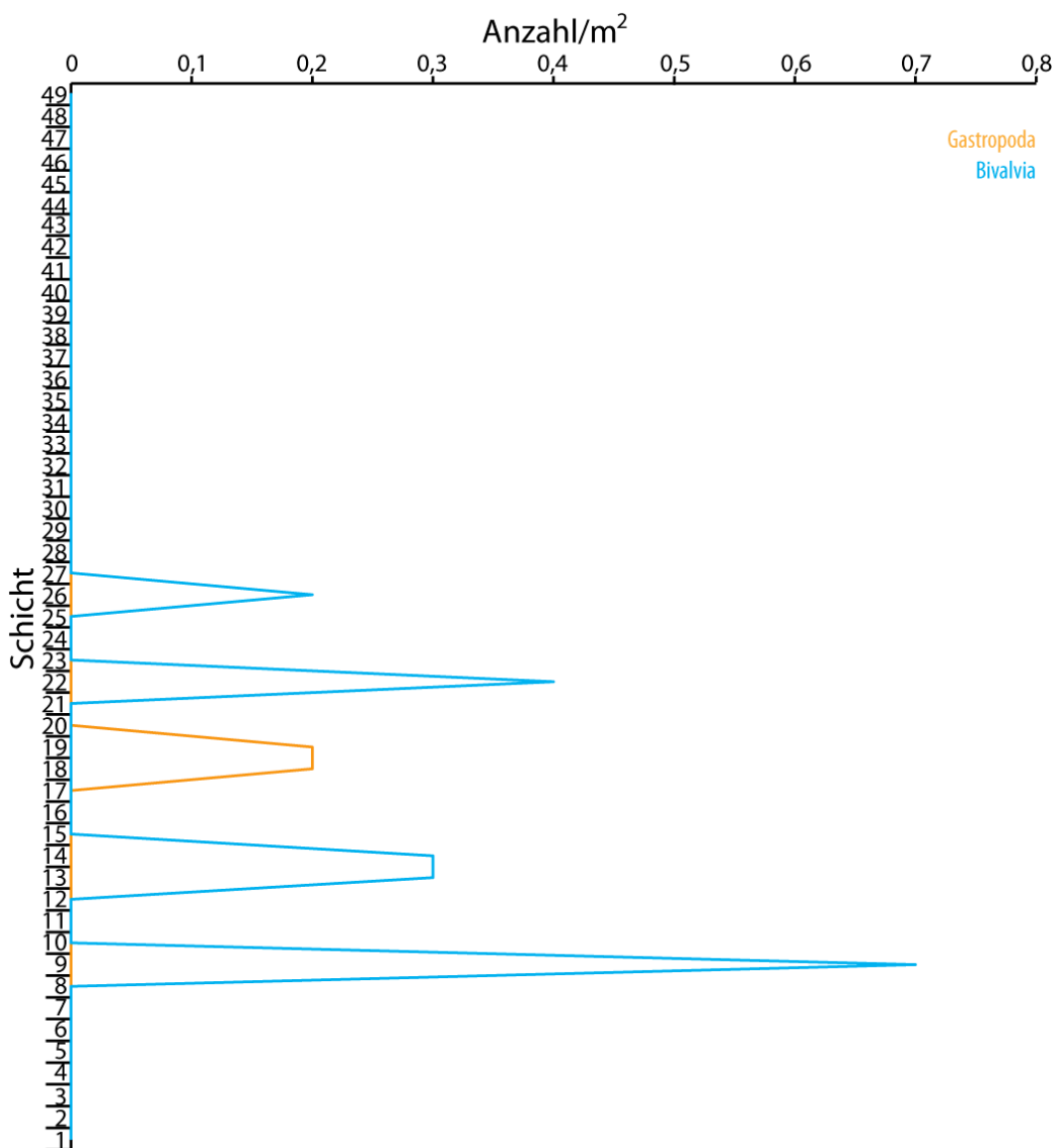


Diagramm 39: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Weichtiere (Mollusca).

5.2.2. Insekten (Insecta)

Insekten (Insecta) wurden in den Schichten 8, 27, 28, 29, 34 und 35 aufgefunden (Diagr. 40).

In den Schichten 27 bis 30 ist die Diversität am höchsten. Es wurden in diesem Profilabschnitt neben unbestimmten Insektenresten auch ein Käfer (Coleoptera) und eine Libelle (Zygoptera) identifiziert (Tab. 38/Anhang). Am häufigsten sind Insekten (Insecta) in Schicht 8 mit bis zu 0,7 Exemplaren pro Quadratmeter. Durchschnittlich treten lediglich 0,1 Exemplare pro Quadratmeter auf (Tab. 40/Anhang).

Bei den meisten Exemplaren fehlen der Kopf und/oder die Extremitäten (Schichten 8, 28, 29, 34). In Schicht 28 wurde der Ganzkörper eines unbestimmten Insektes (Insecta indet.) und in Schicht 35 ein Deckflügel eines Käfers (Coleoptera) aufgefunden.

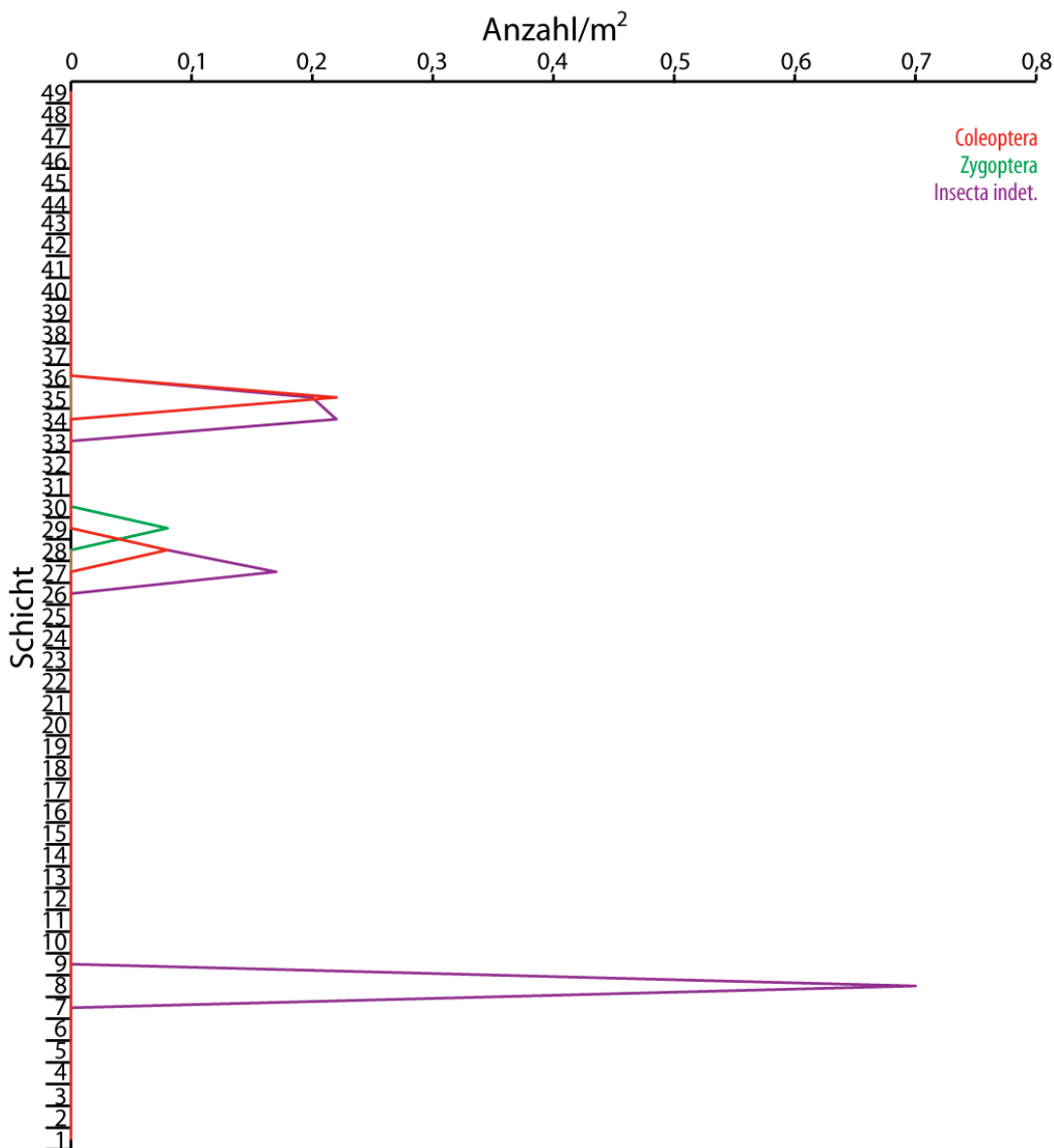


Diagramm 40: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Insekten (Insecta).

5.2.3. Vergleich und paläoökologische Interpretationen

Schnecken (Gastropoda) wurden nur in den laminierten Schichten 18 und 19 aufgefunden (vgl. Diagr. 1, 39). Muschelfunde stammen aus ungeschichteten (Schicht 14) und laminierten Schichten (Schichten 9, 13, 22, 26; vgl. Diagr. 1, 39). Insektenreste wurden nur in den laminierten Schichten 8, 27 bis 29 und 34 bis 35 nachgewiesen (vgl. Diagr. 1, 40, vgl. Kap. 5.1.5.).

Weichtiere (Mollusca) und Insekten (Insecta) treten nicht gemeinsam in den gleichen Schichten auf. Im Profil fehlen die Insekten (Insecta) in den Schichten 9 bis 26, welche wiederum Schnecken (Gastropoda) und Muscheln (Bivalvia) enthalten. Insgesamt ist die Anzahl der Funde aber für verlässliche statistische Auswertungen oder paläoökologische Interpretationen zu gering. Die Seltenheit von Weichtieren (Mollusca) im Profil der Tongrube Unterfeld bestätigt aber grundsätzlich die Annahme aus Kap. 4.2.4., dass der Ablagerungsraum auch über eine längere Zeit nur spärlich von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) besiedelt war und dass viele hartschaligen Bestandteile vielleicht auch durch eine schnellen Schalenlösung zerstört wurden.

Die Reste von Insekten (Insecta) wurden möglicherweise nur unter den ruhigen Ablagerungsbedingungen der laminierten Schichten fossilisiert, dort existierten lebensfeindliche Bedingungen im Ablagerungsbereich (vgl. Kap. 3.5.). Durch die Algenblüten, welche über die kalkigen Ablagerungen in den laminierten Schichten belegt sind, könnte sich das Erhaltungspotential zusätzlich erhöht haben (vgl. Kap. 3.5.). Die Insekten (Insecta) könnten von den Algen im Oberflächenwasser aufgefangen worden sein. Zusammen mit den abgestorbenen Algen könnten sie dann in den Ablagerungsbereich abgesunken sein, ohne weitere Beschädigungen zu erleiden. Die kleinen, fragilen Tiere blieben wahrscheinlich nur unter diesen Bedingungen erhalten (vgl. Kap. 5.1.5.).

5.3. Knorpelfische (Chondrichthyes)

Knorpelfische (Chondrichthyes) wurden nur anhand von Zähnen und Kiemenreusendornen im aufgenommenen Profil nachgewiesen (vgl. Kap. 4.4.3., Tab. 41/Anhang).

5.3.1. Zähne

Einzelfunde von Zähnen (Zerfallsstufe 9) wurden in den Schichten 14, 28, 33, 35 und 38 registriert. Vier der sechs aufgefundenen Zähne stammen von nicht näher bestimmten Makrelenhaiartigen (Lamniformes indet.) und die übrigen zwei von der Grundhai-Gattung *Physogaleus* (Carcharhiniformes inc. sed.; Diagr. 41, Tab. 41/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

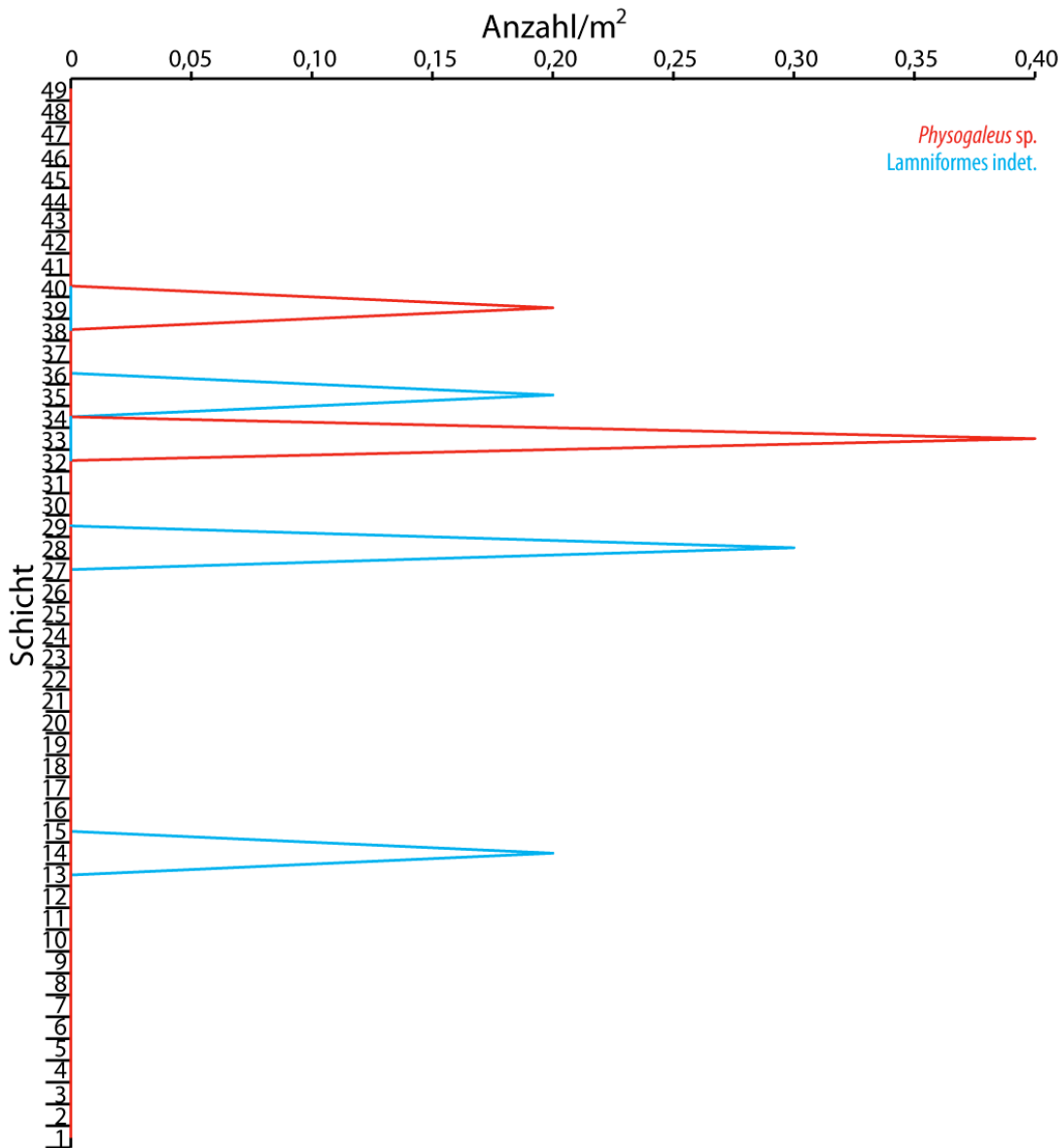


Diagramm 41: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zähne von Knorpelfischen (Chondrichthyes).

5.3.2. Kiemenreusendornen

Fragmentierte Kiemenreusendornen (Zerfallsstufe 10) des Riesenhais *Keasius* (Cetorhinidae) wurden mit Ausnahme der Schichten 1 bis 6 und 40 im gesamten Profil nachgewiesen, jedoch mit stark schwankender Häufigkeit (vgl. Diagr. 2). Am häufigsten waren Kiemenreusendornen in Schicht 12 mit 61,3 Exemplaren pro Quadratmeter. Durchschnittlich waren es 10,6 Exemplare pro Quadratmeter.

Kiemenreusendornenbündel (Zerfallsstufe 6) sind signifikant seltener. Diese wurden mit durchschnittlich 0,1 Exemplaren pro Quadratmeter in den Schichten 10 bis 13, 15, 17 bis 20, 23, 24 und 28 nachgewiesen (Tab. 41/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

5.3.3. Vergleich und paläoökologische Interpretationen

Die vertikale Häufigkeitsverteilung der Kiemenreusendornen des Riesenhais *Keasius* (Cetorhinidae) korreliert in den Schichten des FS B (Schichten 7 bis 49) mit derjenigen der häufigsten botanischen Überreste (vgl. Diagr. 2, 34, Kap. 5.1.5.). In den Schichten mit der höchsten Abundanz dieser Reste bestand wahrscheinlich eine marine Verbindung zu Seegraswiesen und litoralen Sumpfgebieten (vgl. Kap. 3.5., 5.1.5.), sowie zum offenen Meer, dem Habitat der Riesenhaie (Cetorhinidae; vgl. Kap. 4.4.4.). Durch einen hohen Wasserstand wäre es den Riesenhaien (Cetorhinidae) möglich gewesen in den Ablagerungsbereich zu gelangen, aber ebenso könnten lediglich die Kiemenreusendornen eingeschwemmt worden sein, welche von den Tieren in periodischen Abständen vollständig ausgetauscht werden (vgl. Kap. 4.4.4.). Letzteres ist wahrscheinlicher, denn zum einen wurden in den Kiemenreusendornen aus der Tongrube Unterfeld keine Reste von Plankton nachgewiesen und zum anderen wurde bisher nur ein Ganzkörperfossil eines juvenilen Riesenhais (Cetorhinidae) bekannt, das in den Ablagerungsraum eingedrftet ist (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2012; vgl. Kap. 4.4.2., 4.4.4.). Das macht es sehr unwahrscheinlich, dass die Tiere auf Nahrungssuche regelmäßig den Ablagerungsbereich durchschwommen haben (vgl. Kap. 4.4.4.).

Haizähne sind nur als Einzelfunde aus dem Profil der Tongrube Unterfeld bekannt und belegen die Annahme, dass sich zahntragende Haie nur selten im Ablagerungsbereich aufhielten (vgl. Kap. 4.4.4.). Die Zähne wurden nur in Schichten gefunden, in denen auch Kiemenreusendornen besonders häufig sind. Dies könnte bedeuten, dass die Zähne der Haie dem gleichen oder einem sehr ähnlichen Eintragsmechanismus wie die Kiemenreusendornen unterlegen waren. Da aber die zahntragenden Haie deutlich weniger Zähne haben, als die Riesenhaie (Cetorhinidae) Kiemenreusendornen, ist die Fundanzahl sehr gering. Die Hypothese kann somit statistisch nicht bestätigt werden.

5.4. Knochenfische (Teleostei)

Die vertikale Häufigkeitsverteilung der Knochenfische (Teleostei) schwankt stark, während ihre Diversität im Verlauf des Profils annähernd gleich bleibt (Diagr. 42). Es dominieren Heringsartige (Clupeiformes), Seenadelartige (Syngnathiformes) sowie Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes; vgl. Kap. 4.5.2.). Lediglich in den Schichten 1, 18 und 37 wurden zwei nicht näher bestimmbare Exemplare von Barschartigen (Perciformes indet.) und in Schicht 29 ein Exemplar des Großaugenbarsches *Priacanthus spinosus* BLAINVILLE 1818 (Priacanthidae) aufgefunden (Tab. 38/Anhang). Zwei der drei Barschartigen (Perciformes indet.) und der Großaugenbarsch

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

(Priacanthidae) sind fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufe 3. Ein Exemplar von den Barschartigen (Perciformes indet.) ist vollständig artikuliert (Zerfallsstufe 1).

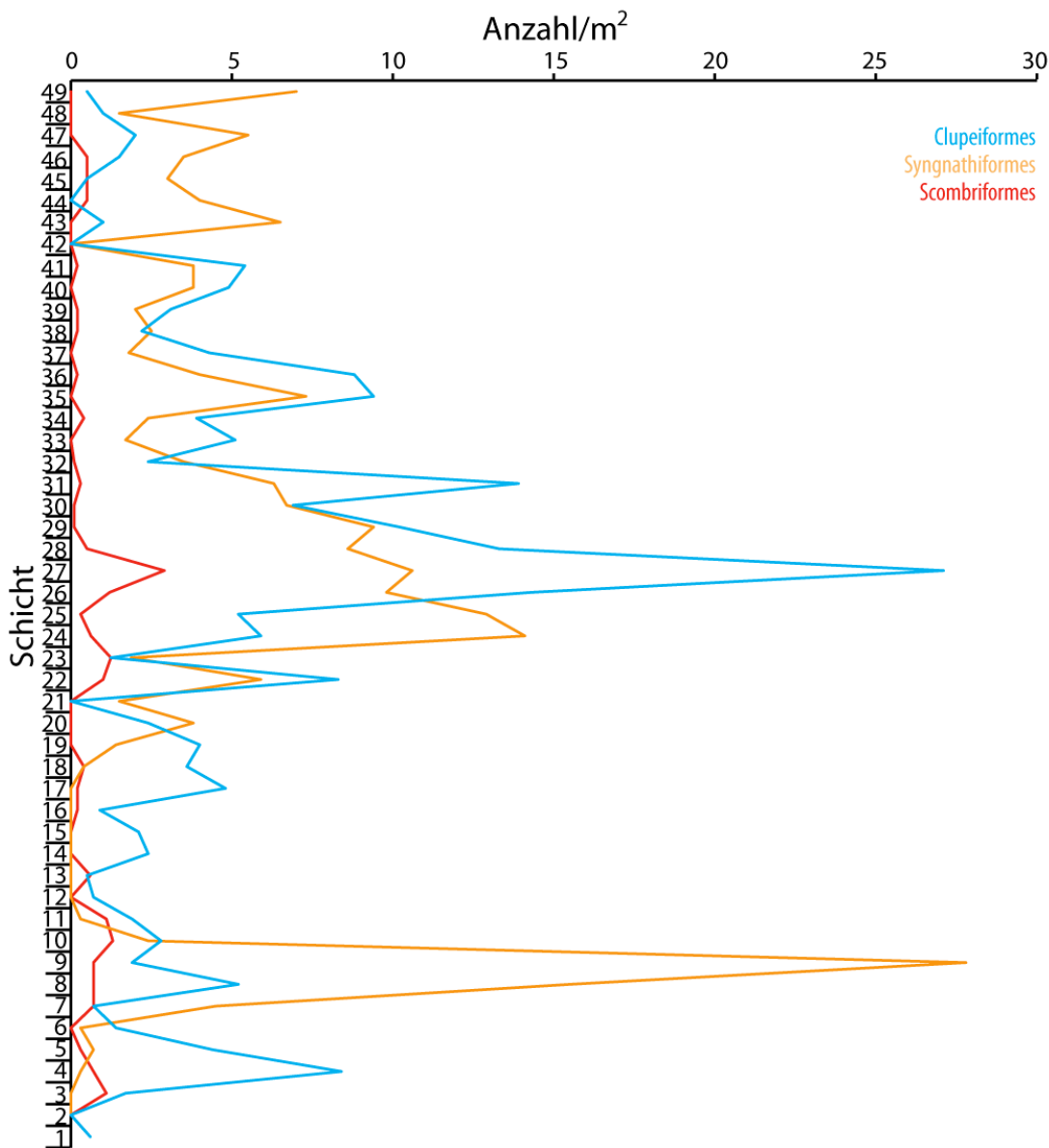


Diagramm 42: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Knochenfische (Teleostei).

5.4.1. unbestimmbare Fischreste (Teleostei indet.)

Reste von Knochenfischen (Teleostei), die aufgrund ihres Erhaltungszustandes nicht näher bestimmt werden konnten, liegen hauptsächlich in den Zerfallsstufen 4, 8 und 10 vor und wurden in sämtlichen Schichten aufgefunden (Diagr. 43, Tab. 42/Anhang).

Am signifikant häufigsten sind disartikulierte Körperteile der Zerfallsstufe 8. Diese wurden durchschnittlich mit 32,3 Exemplaren pro Quadratmeter nachgewiesen. Jedoch wechselt ihre Häufigkeit innerhalb der Schichten deutlich. Am häufigsten sind sie in Schicht 28 mit

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

124,9 Exemplaren pro Quadratmeter. In Schicht 43 fehlen sie ganz und in Schicht 48 wurden lediglich fünf Exemplare pro Quadratmeter aufgefunden (Diagr. 43, Tab. 42/Anhang).

Fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 wurden in den Schichten 1 bis 33 nachgewiesen und ihre Häufigkeit nimmt mit Ausnahme der Schichten 24 bis 27 stetig zum Top hin ab (Diagr. 43, Tab. 42/Anhang).

Einzelelemente der Zerfallsstufe 10 sind hauptsächlich Schuppen, die mit Ausnahme der Schichten 2, 4, 7, 9, 15, 16, 42 und 45 im gesamten Profil vorkommen. Die meisten wurden in Schicht 46 mit 17,5 Exemplaren pro Quadratmeter gefunden, durchschnittlich waren es aber 2,4 Exemplar pro Quadratmeter (Diagr. 43, Tab. 42/Anhang).

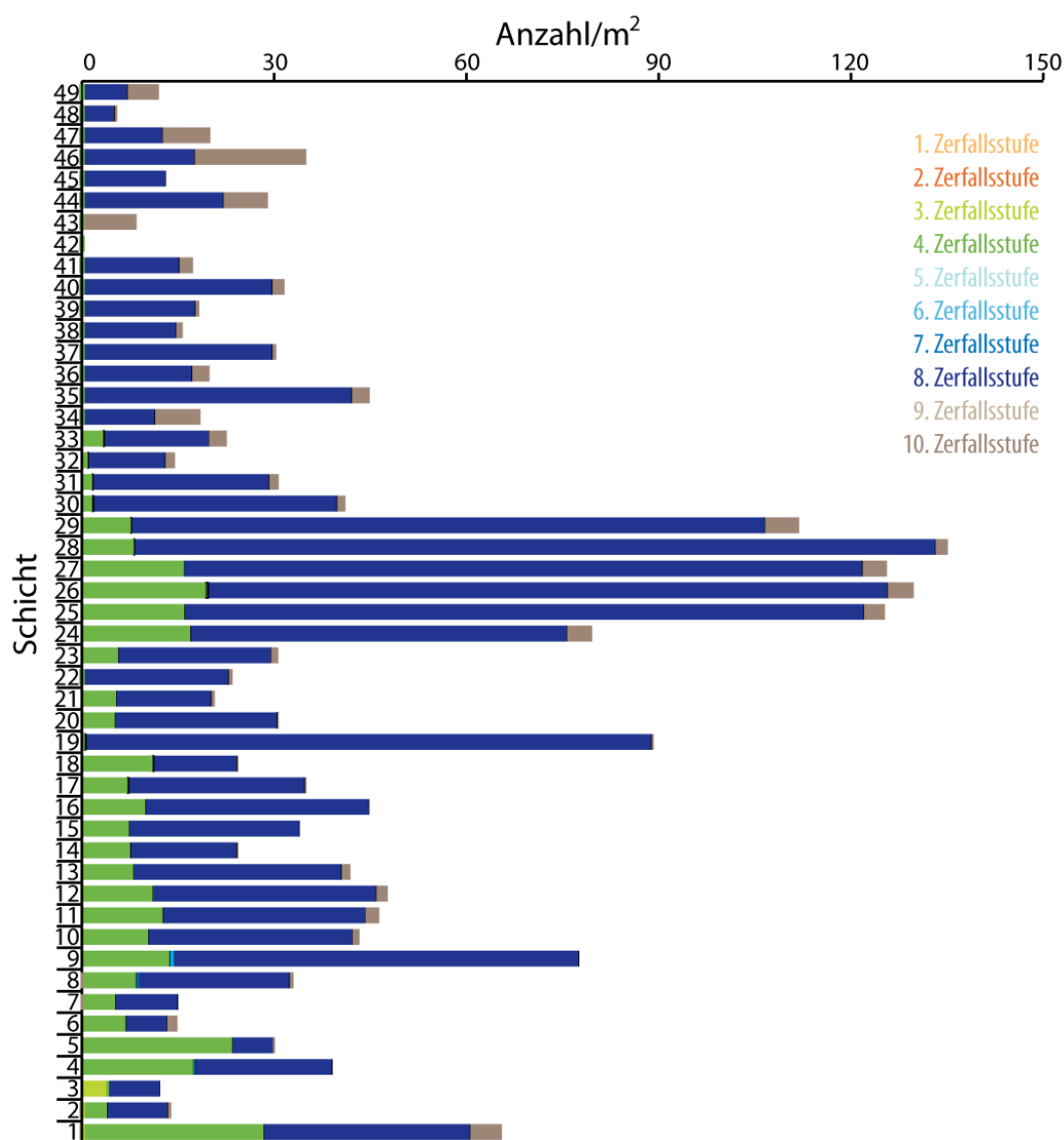


Diagramm 43: Vertikale Häufigkeitsverteilung der unbestimmten Knochenfischreste (Teleostei indet.) und ihrer Zerfallsstufen.

5.4.2. Heringsartige (Clupeiformes)

Überreste von nicht näher bestimmbaren Heringen (Clupeidae indet.) wurden bis auf Schicht 21 in allen Schichten mit wechselnden Häufigkeiten in annähernd allen Zerfallsstufen nachgewiesen (vgl. Kap. 4.5.2, 4.5.4., Tab. 38/Anhang). Nur die Zerfallsstufen 2 und 9 fehlen. In Schicht 27 sind Heringsüberreste mit 26,8 Exemplaren pro Quadratmeter am häufigsten. Der Durchschnitt liegt bei 4,5 Exemplaren pro Quadratmeter (Diagr. 44, Tab. 43/Anhang).

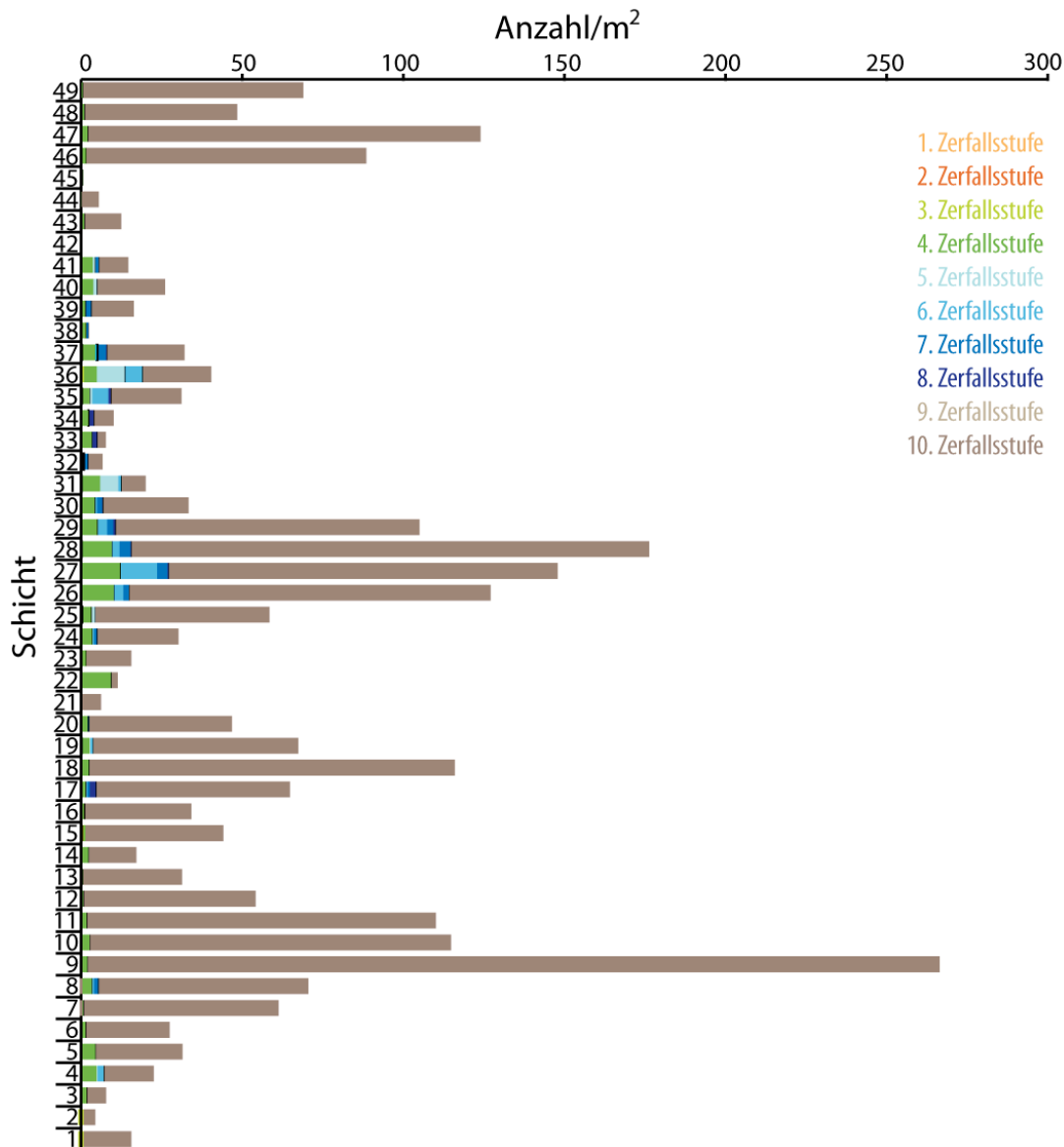


Diagramm 44: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Heringe (Clupeidae).

Der Großteil der Heringsreste sind fragmentierte Schuppen (Zerfallsstufe 10). Am häufigsten sind sie in Schicht 9 mit 264,5 Exemplaren pro Quadratmeter. Durchschnittlich treten Schuppen mit 96,6 Exemplaren pro Quadratmeter auf. Funde von Ganzkörpern oder Körperteilen treten im Vergleich dazu in signifikant geringerem Umfang auf (vgl. Diagr. 44, Tab. 43/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

Ganzkörperfossilien wurden in den Zerfallsstufen 1, 3 und 4 nachgewiesen. Am häufigsten ist die Zerfallsstufe 4. Hiervon wurden in Schicht 27 12,1 Exemplaren pro Quadratmeter gefunden. Durchschnittlich waren es 2,5 Exemplare pro Quadratmeter. Vollständige Exemplare (Zerfallsstufe 1) sind nur aus den Schichten 25, 28, 31 und 32 bekannt. Die Zerfallsstufe 3 wurde in den Schichten 15, 16, 18, 19 und 35 bis 38 nachgewiesen. Es war weniger als ein Exemplar pro Quadratmeter (vgl. Diagr. 44, Tab. 43/Anhang).

Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 sind aus den Schichten 4 bis 41 belegt. Am häufigsten sind sie in den Schichten 27 und 36. In Schicht 27 wurden 15 Exemplare pro Quadratmeter nachgewiesen und in Schicht 36 14 Exemplare pro Quadratmeter. Während in Schicht 27 die Zerfallsstufe 6 überwiegt, ist in Schicht 36 die Zerfallsstufe 5 am häufigsten (vgl. Diagr. 44, Tab. 43/Anhang).

5.4.3. Seenadelartige (Syngnathiformes)

Seenadelartige (Syngnathiformes) sind hauptsächlich durch den Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae) belegt und fehlen lediglich in den Schichten 11 bis 17 (vgl. Kap. 4.5.2., Tab. 38, 44/Anhang). Der Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae) ist am häufigsten in Schicht 9 mit 27,1 Exemplaren pro Quadratmeter. Der Durchschnitt liegt bei 5,1 Exemplaren pro Quadratmeter. Daneben wurden Überreste von unbestimmbaren Trompetenfischen (Aulostomidae indet.) und Seenadeln (Syngnathidae indet.) in den Schichten 26 bis 28, 30 bis 32, 36 und 39 identifiziert (Diagr. 45). Damit ist in diesen Schichten die Diversität der Seenadelartigen (Syngnathiformes) am höchsten.

Ganzkörperfossilien der Zerfallsstufen 1, 3 und 4 wurden in den Schichten 5 bis 10 und 18 bis 48 gefunden. Am häufigsten ist die Zerfallsstufe 4 und die höchste Abundanz wurde in Schicht 43 mit 6,5 Exemplaren pro Quadratmeter nachgewiesen (Diagr. 46, Tab. 44/Anhang). Fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufe 3 sind nur aus den Schichten 20, 35 und 36 bekannt. Meist wurde weniger als ein Exemplar pro m² gefunden (Diagr. 46, Tab. 44/Anhang). Vollständige Ganzkörper der Zerfallsstufe 1 wurden nur in den Schichten 25 bis 31 und 36 nachgewiesen. Es war weniger als ein Exemplar pro Quadratmeter (Diagr. 46, Tab. 44/Anhang).

Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 treten im Bereich der Schichten 1 bis 10 und 18 bis 41 auf (Diagr. 46, Tab. 44/Anhang). Am häufigsten sind disartikulierte Körperteile der Zerfallsstufe 8, welche in Schicht 9 mit 16,8 Exemplaren pro Quadratmeter die höchste Abundanz aufweisen. Disartikulierte Körperteile der Zerfallsstufe 7 sind am häufigsten in Schicht 27 mit 2,1 Exemplaren pro Quadratmeter (Diagr. 46, Tab. 44/Anhang). Artikulierte Körperteile der Zerfallsstufen 5 und 6 sind am häufigsten in Schicht 28 mit 3,1 Exemplaren pro Quadratmeter (Diagr. 46, Tab. 44/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

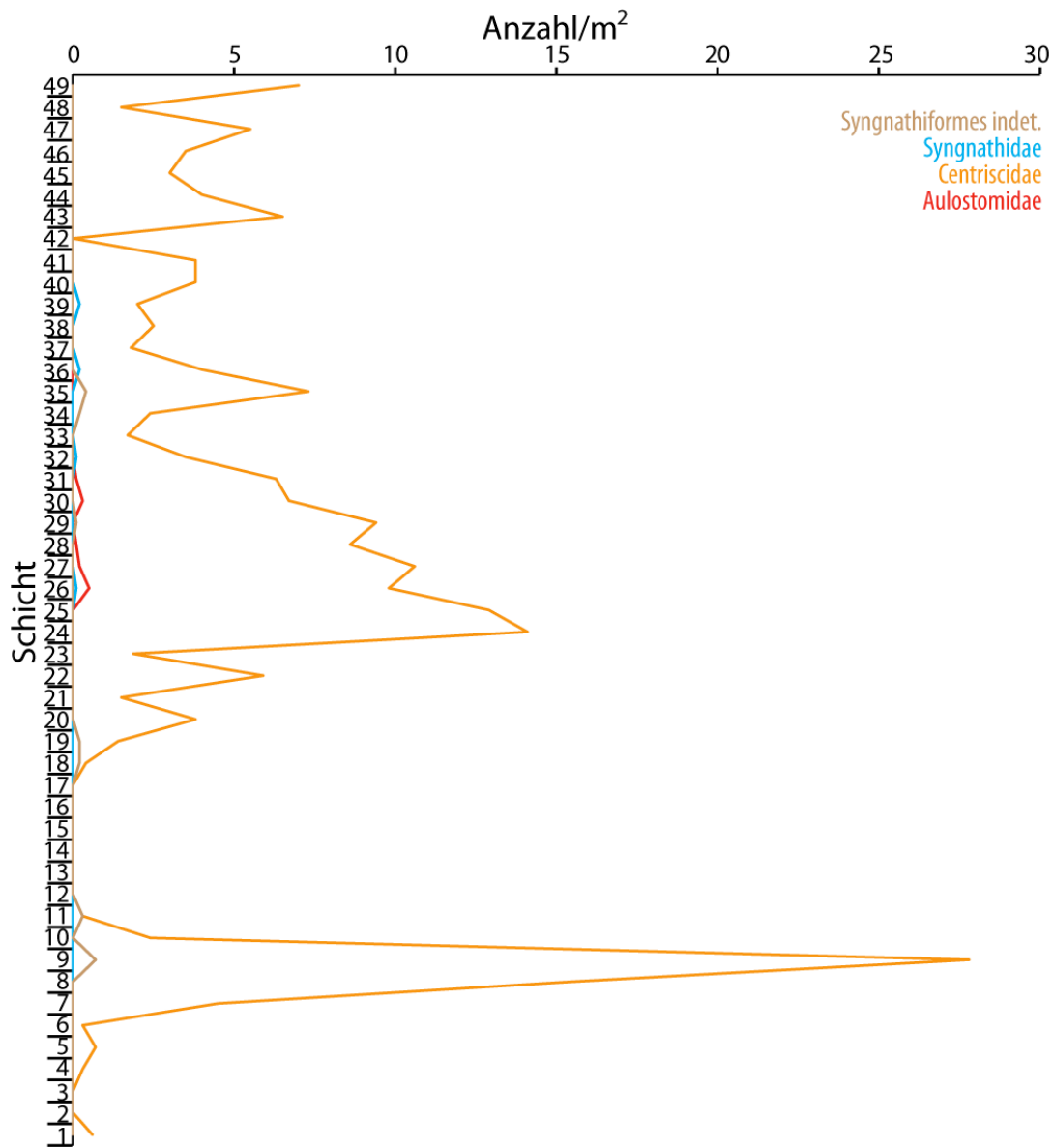


Diagramm 45: Vertikale Häufigkeitsverteilung und Diversität der Seenadelartigen (Syngnathiformes).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

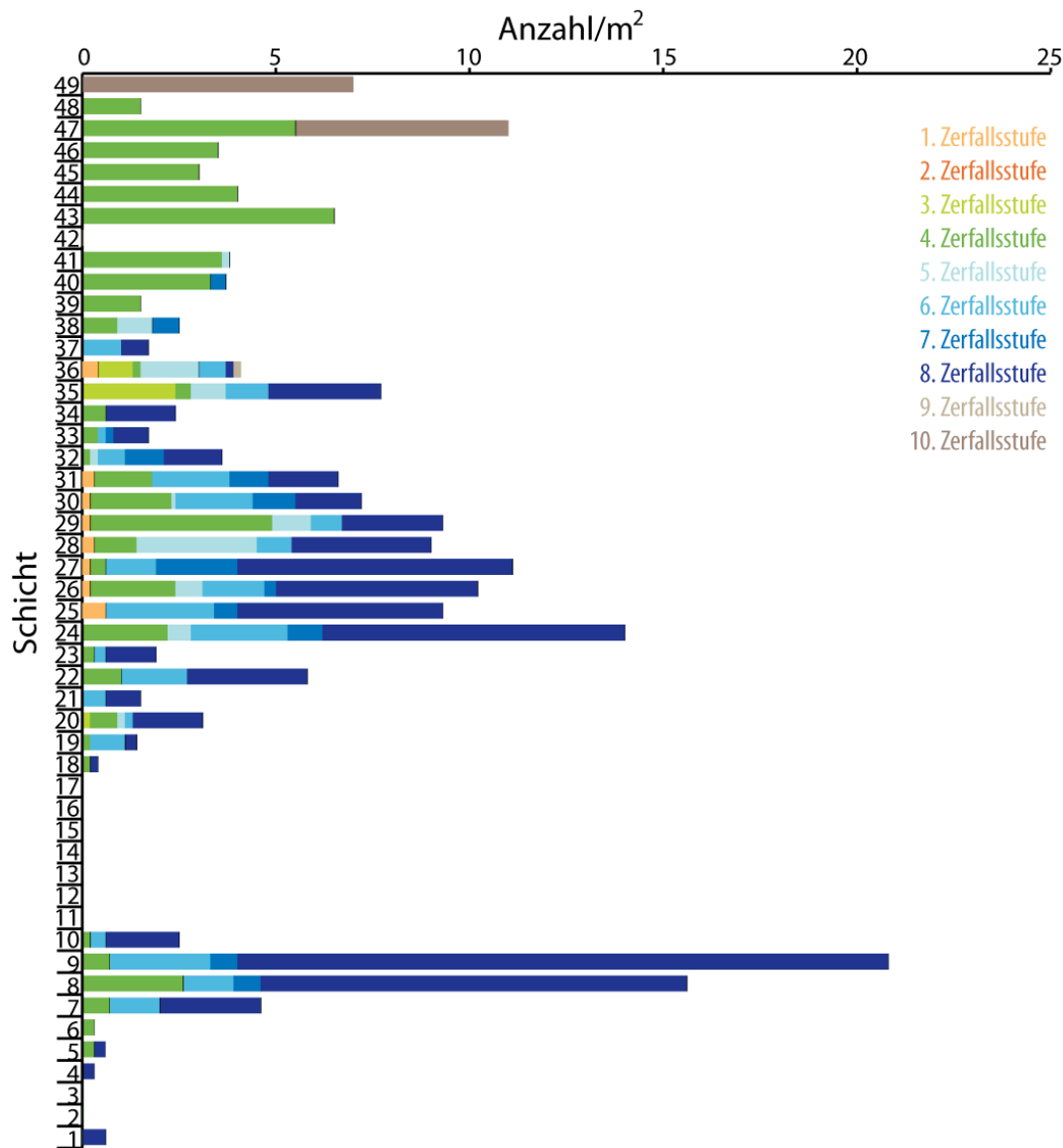


Diagramm 46: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen des Schnepfenmesserfisches *Aeoliscus* (Centriscidae, Syngnathiformes).

5.4.4. Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes)

Die Funde von Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) verteilen sich auf nicht näher bestimmbare Exemplare (Scombriformes indet.), Haarschwänze (Trichiuridae) sowie Makrelen- und Thunfische (Scombridae; vgl. Kap. 4.5.2., 4.5.4). Überreste von nicht näher bestimmbaren Exemplaren (Scombriformes indet.) treten in den Schichten 1, 3 bis 5, 8 bis 11, 13, 16 bis 18, 22 bis 32, 34, 36, 39, 41 und 47 bis 49 auf (Diagr. 47). Nicht näher bestimmbare Haarschwänze (Trichiuridae indet.) wurden in den Schichten 10 und 17 nachgewiesen, der Haarschwanz *Lepidopus* in Schicht 30 und die Überreste der Makrele *Scomberomorus* (Scombridae) in Schicht 47. Durchschnittlich wurden 0,8 Exemplare pro Quadratmeter von Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) aufgefunden (Diagr. 47, Tab. 38/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

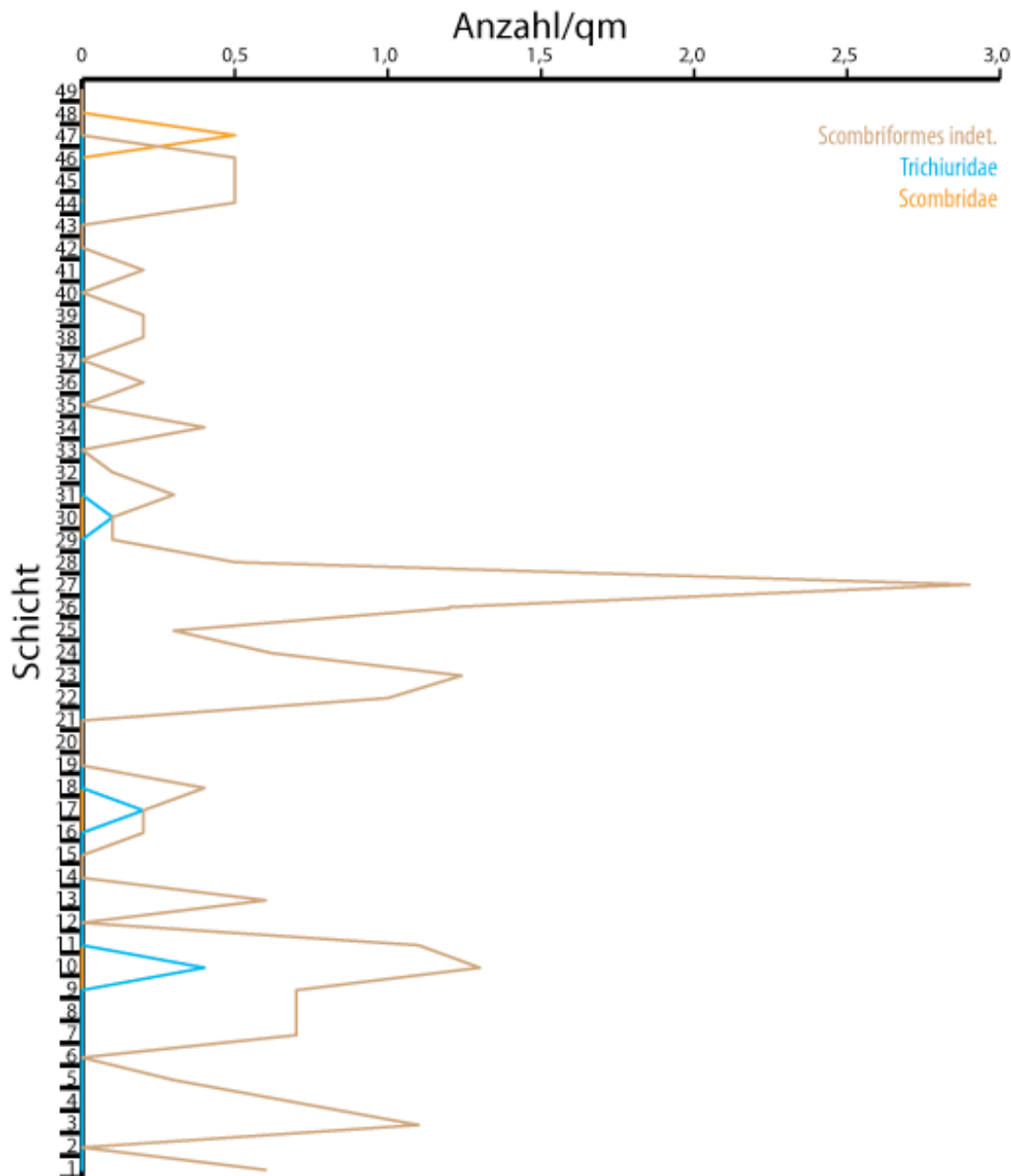


Diagramm 47: Vertikale Häufigkeitsverteilung und Diversität der Scombriformes.

Insgesamt überwiegen isolierte Elemente gegenüber den Ganzkörperfossilien. Durchschnittlich wurden nur 0,1 Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 pro Quadratmeter gefunden. Demgegenüber wurden im Schnitt 0,2 Körperteile der Zerfallsstufe 6 bis 8 und 0,2 Einzelelemente der Zerfallsstufen 9 und 10 pro Quadratmeter aufgefunden (Diagr. 48, Tab. 45/Anhang). Während an der Basis (Schichten 1 bis 11) Ganzkörperfossilien der Zerfallsstufe 4 überwiegen, sind am Top (Schichten 13 bis 47) Körperteile der Zerfallsstufe 6 und Einzelelemente der Zerfallsstufe 10 häufiger.

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

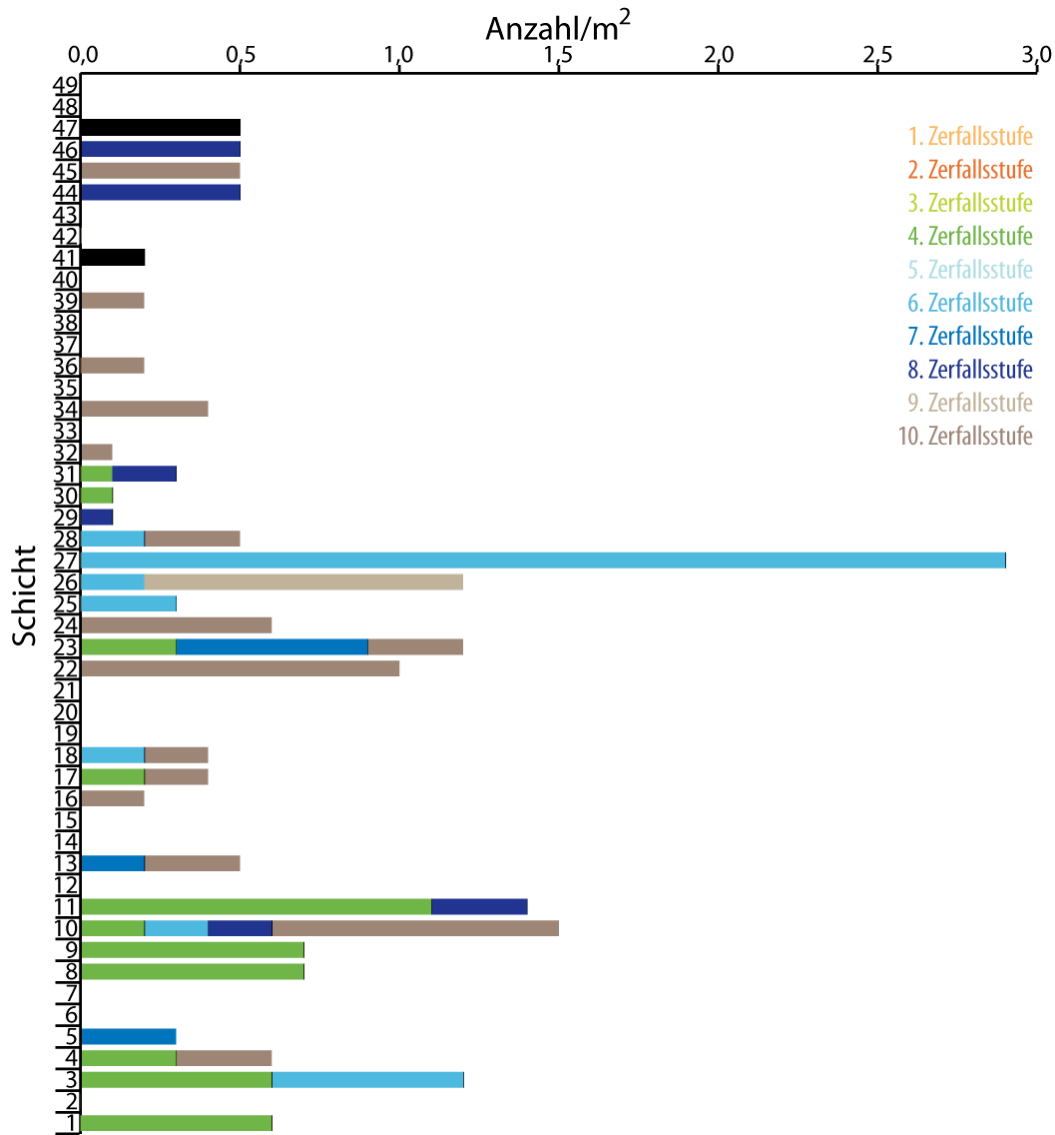


Diagramm 48: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes).

5.4.5. Jungfische

Im Profil wurden Jungfische in den Schichten 3 bis 35 nachgewiesen (Diagr. 46, Tab. 46/Anhang). Die Abundanz ist in den Schichten 24 bis 32 mit durchschnittlich 1,4 Exemplaren pro Quadratmeter am höchsten. In diesen Schichten kommen neben den Jungfischen von Heringen (Clupeidae) und dem Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae) auch solche von Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) vor (vgl. Kap. 4.5.3.).

Jungfische von Heringen (Clupeidae) sind mehr als doppelt so häufig wie jene des Schnepfenfisches (Centriscidae). Juvenile Heringe (Clupeidae) treten mit durchschnittlich 0,7 Exemplaren pro Quadratmeter auf. Am häufigsten sind sie in Schicht 27 mit bis zu zwei Exemplaren pro Quadratmeter (Diagr. 46, Tab. 46/Anhang).

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

Jungfische des Schnepfenmesserfisches *Aeoliscus* (Centriscidae) wurden in den Schichten 24 bis 32 mit durchschnittlich 0,4 Exemplaren pro Quadratmeter identifiziert. Am häufigsten sind sie in Schicht 25 mit 1,2 Exemplaren pro Quadratmeter (Diagr. 46, Tab. 46/Anhang).

Jungfische von nicht näher bestimmbaren Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes indet.) sind aus Schicht 3 bekannt. In Schicht 30 wurde ein juveniles Exemplar des Haarschwanzes *Lepidopus* (Trichiuridae) identifiziert (Diagr. 46, Tab. 46/Anhang).

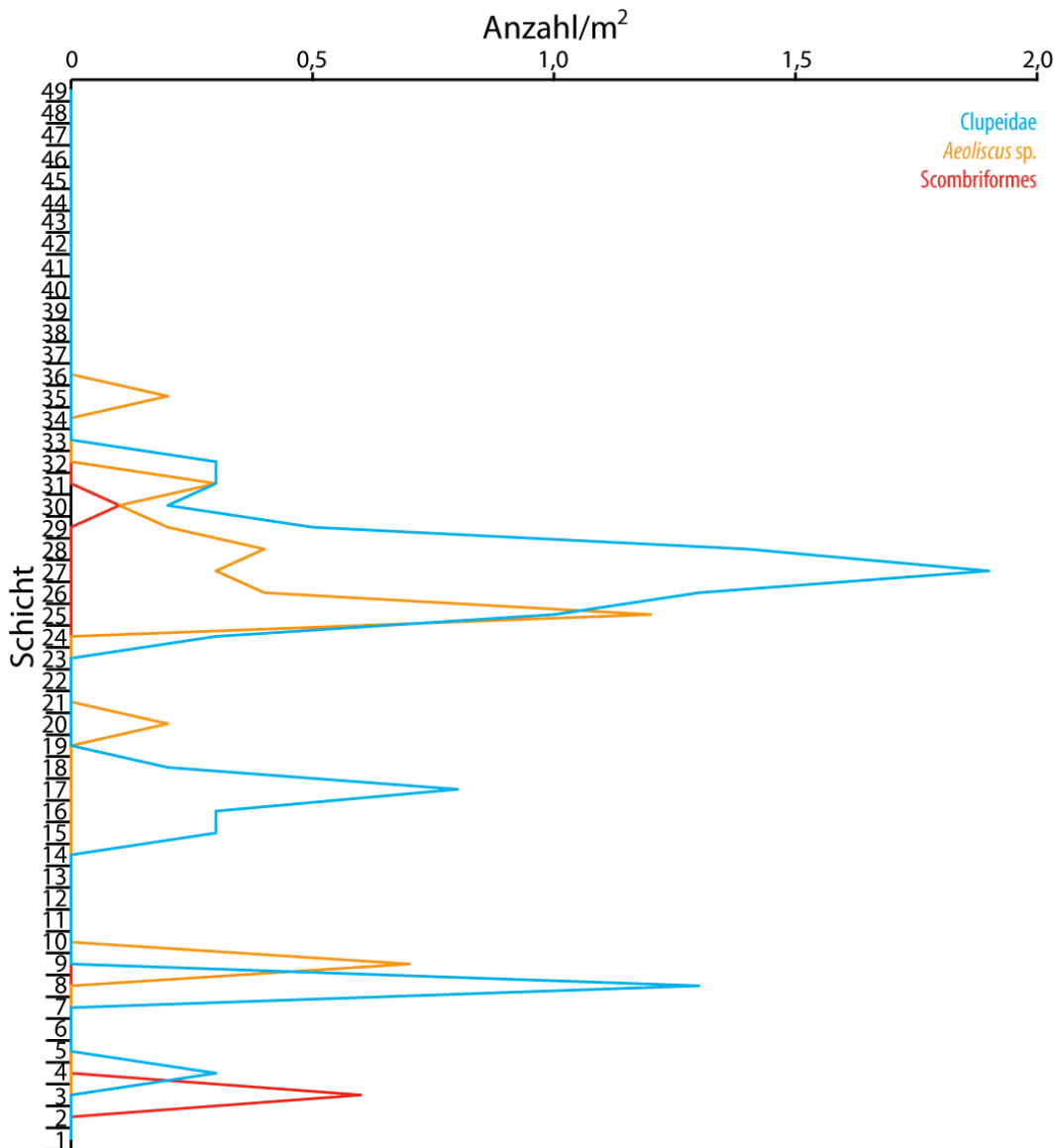


Diagramm 49: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Jungfische (Teleostei).

5.4.6. Vergleich und paläoökologische Interpretationen

Die aufgefundenen Fischtaxa lassen sich auf Basis der Ergebnisse aus Kap. 4 verschiedenen Habitaten zuordnen: Schnepfenfische (Centriscidae), Seenadeln (Syngnathidae), Trompetenfische (Aulostomidae) und vermutlich ein Großteil der Jungfische waren wahrscheinlich Bewohner der im

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

Osten angrenzenden Seegraswiesen. Heringe (Clupeidae) und Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes) sind tendenziell dem pelagischen Bereich des Rupelmeeres im Westen zuzuordnen.

Die Ergebnisse der vertikalen Häufigkeitsverteilung der Pflanzenfossilien und Kiemenreusendornen haben gezeigt, dass die Schichten 1, 2, 8 bis 13, 21 bis 28 und 43 bis 49 unter Bedingungen abgelagert wurden, die für einen stabilen Eintrag von organischen Resten aus den Seegraswiesen, dem litoralen Sumpfgebiet und dem offenen Meer in den Ablagerungsraum sorgten (vgl. Kap. 5.1.5., 5.3.3.). Die Häufigkeit von Hochseefischen, wie z. B. Heringen (Clupeidae) oder Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes), bestätigt die Verbindung zum Rupelmeer. Wenn auch dieses Vorkommen in den Schichten 8 bis 13 und 43 bis 49 etwas geringer als in den Schichten 1, 2 und 21 bis 28 ist (vgl. Diagr. 44 bis 48). Seegraswiesenbewohner, wie z. B. Schnepfen- (Centriscidae) oder Trompetenfische (Aulostomidae) und Jungfische, sind in den meisten dieser Schichten so häufig, dass dadurch auch die Annahme belegt wird, dass es eine Verbindung zu den Seegraswiesen bestand (vgl. Kap. 5.1.5.). Der Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae) ist z. B. in den Schichten 8 bis 10 am häufigsten (vgl. Diagr. 45).

In den Schichten 21 bis 28 sind Fischfossilien nicht nur sehr häufig, in diesem Profilbereich ist gleichzeitig ihre Diversität am höchsten (vgl. Diagr. 42). Es wurden neben besonders häufigen Heringen (Clupeidae) und Schnepfenfischen (Centriscidae) auch Trompetenfische (Aulostomidae), Seenadeln (Syngnathidae), Haarschwänze (Trichiuridae) sowie Makrelen- und Thunfische (Scombriformes) nachgewiesen (vgl. Diagr. 44, 46). Darüber hinaus kommen auch Jungfische in diesen Schichten besonders oft vor (vgl. Diagr. 2, 34, 49). Außerdem wurden nur in diesem Profilbereich Ganzkörperfossilien der Zerfallsstufe 1 von dem Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus* (Centriscidae) und die am wenigsten zerfallenen Heringsfossilien nachgewiesen (vgl. Diagr. 44, 46). Dieses Ergebnis geht einher mit dem Befund aus Kap. 5.1. Demzufolge kommen in diesen Schichten auch die meisten bestimmbarsten Laubblätter terrestrischer Pflanzen vor (vgl. Diagr. 46). Die laminierten Schichten sind ein Hinweis auf ruhige Ablagerungsbedingungen, was zu einem erhöhten Fossilisationspotential im lebensfeindlichen Ablagerungsbereich führte (vgl. Kap. 3.5.). Dadurch sind einige Pflanzen- und Fischfossilien besser erhalten geblieben und so bestimmbar. Ein hoher Wasserstand könnte zusätzlich verhindert haben, dass Fischkadaver wieder auftrieben und so wurden einige Kadaver vollständig eingebettet (vgl. Kap. 4.5.5.). Aufgrund der Konstanz der Erhaltungsmuster in den Schichten 21 bis 28 ist nicht davon auszugehen, dass in diesem Profilbereich Lücken bei der Überlieferung von Sturmablagerungen bestehen. In den Schichten 1, 2, 8 bis 13 und 43 bis 49 sind die laminierten Lagen immer wieder von ungeschichteten Sturmablagerungen unterbrochen und die Fischfossilien sind dadurch stärker disartikuliert und

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

fragmentiert als in den Schichten 21 bis 28 (vgl. Diagr. 1, 44 bis 48).

Insgesamt betrachtet zeichnen sich die Fischfossilien in den Schichten 1, 2, 8 bis 13, 21 bis 28 und 43 bis 49 durch einen hohen Disartikulation- und Fragmentierungsgrad aus. Es kommen vollständige Funde kommen vor, jedoch sind diese selten (vgl. Diagr. 43, 44, 46, 48, 49). Sowohl die pelagischen als auch die seegraswiesenbewohnenden Fischtaxa konnten entweder lebend oder als driftende Kadaver in den Ablagerungsbereich gelangen. Die hohe Abundanz von Schuppen und Fragmenten deuten aber tendenziell auf driftende Kadaver hin, so dass von einer geringen Besiedelungsdichte der oberen Wasserschichten ausgegangen wird (vgl. Kap. 4.5.5.).

Durch die vertikalen Häufigkeitsverteilungen der Pflanzenfossilien hat sich gezeigt, dass in den Schichten 3 bis 7, 29 bis 41 und 14 bis 20 keine oder nur eine eingeschränkte Verbindung zwischen dem Ablagerungsbereich und den Seegraswiesen bestand (vgl. Kap. 5.1.5.). Dies wird durch die Seltenheit von Seegraswiesenbewohner, wie z. B. von Schnepfenfischen (Centriscidae) und Jungfischen, untermauert (vgl. Diagr. 45, 46). Die Seltenheit von Kiemenreusendornen in diesen Schichten lässt auch eine schlechte Verbindung zum offenen Meer vermuten (vgl. Diagr. 2). Allerdings belegen die häufigen pelagischen Knochenfischtaxa, wie z. B. Heringe (Clupeidae) und Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes), dass eine Verbindung zum Rupelmeer weiterhin bestanden haben muss. Die Fischfossilien sind in diesen Profilbereichen generell disartikuliert und fragmentiert und lassen wiederum auf einen Eintrag von treibenden Kadaver schließen (vgl. Diagr. 43, 44, 46, 48, 49).

Der Anteil an ungeschichteten Lagen ist in den Schichten 3 bis 7, 29 bis 41 und 14 bis 20 ist im Vergleich zu den Schichten 1, 2, 8 bis 13 und 43 bis 49 niedriger. Dennoch sind die Fossilien insgesamt schlechter erhalten. Dies könnte darauf hindeuten, dass in den Schichten 3 bis 7, 14 bis 20 und 29 bis 42 womöglich nicht alle Sturmablagerungen erhalten geblieben sind. Denn starke, landwärts gerichtete Sturmereignisse könnten den Eintrag von treibenden Fischkadavern aus dem Rupelmeer und deren Disartikulationsgrad erhöht sowie den Eintrag aus den Seegraswiesen verringert haben (vgl. Kap. 3.5., 5.1.5.). Es ist auch möglich, dass diese Schichten unter einem niedrigeren Wasserstand als die Schichten 1, 2, 8 bis 13, 21 bis 28 und 43 bis 49 abgelagert wurden (vgl. Kap. 3.5.). Dies würde ein Auftreiben von Fischkadavern und lange Driftzeiten begünstigen, was sich in einem hohen Disartikulations- und Fragmentierungsgrad widerspiegelt. Ein niedriger Wasserstand würde auch für eine Störung der marinen Verbindung des Ablagerungsbereiches mit den Seegraswiesen sorgen (vgl. Kap. 3.5.).

Die hohe Abundanz von disartikulierten Fischresten, Schuppen und Fragmenten im Verlauf des gesamten Profils belegen, dass grundsätzlich ein stetiger Hintergrundeintrag driftender Kadaver stattgefunden hat (vgl. Diagr. 1, 43, 44, 46). Dieser ist vermutlich ständig aus dem Rupelmeer und

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

periodisch aus den Seegraswiesen erfolgt.

Die Ergebnisse über die vertikale Häufigkeitsverteilung der Fischfossilien entsprechen den in Kap. 4.5.5. beschriebenen biostratinomischen Prozessen und den in Kap. 5.1.5. diskutierten Veränderungen des botanischen Eintrages in den Ablagerungsbereich der Tongrube Unterfeld.

5.5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse über die vertikalen Häufigkeitsverteilungen der Taxa, der erhaltenen Elemente und der Zerfallsstufen zeigen, dass der Fossileintrag in den Ablagerungsbereich des Fischschiefers offenbar durch Veränderungen der relativen Lage der SWB zum Ablagerungsbereich beeinflusst war (vgl. Kap. 3.5., 5.1.5., 5.3.3., 5.4.6.). Die Position der SWB wurde hierbei wahrscheinlich sowohl durch Meeresspiegelschwankungen als auch durch Sturmereignisse gesteuert. Die meisten der aufgefundenen Taxa zeigen in den gleichen Schichten signifikante Spitzen. Insgesamt sind vier unterschiedliche Schichttypen erkennbar (Diagr. 50).

Schichttyp I (Schichten 1, 2, 21 bis 28): Diese Schichten belegen eine stabile, marine Verbindung des Ablagerungsbereiches mit Seegraswiesen und litoralen Sumpfgebieten im Osten sowie dem Rupelmeer im Westen. Dies wird durch die Vielzahl an Fossilien aus diesen Liefergebieten belegt. Sturmablagerungen fehlen oder wurden abgetragen. Zumindest aber im Profilbereich der Schichten 21 bis 28 ist aufgrund der Konstanz in den Erhaltungsmustern der Fisch- und Pflanzenfossilien davon auszugehen, dass die ruhigen Ablagerungsbedingungen nicht durch Sturmereignisse unterbrochen wurden (vgl. Kap. 5.1.5., 5.3.3., 5.4.6.).

Schichttyp II (Schichten 8 bis 13, 43 bis 49): Auch während der Ablagerungszeit dieser Schichten bestand eine marine Verbindung zwischen Ablagerungsraum und Seegraswiesen sowie zu den küstennahen Sumpfgebieten. Das zeigt sich in der Häufigkeit von pflanzlichen Überresten (vgl. Kap. 5.1.5.) Der Eintrag aus dem Rupelmeer scheint aber im Vergleich zu Schichttyp I leicht eingeschränkt gewesen zu sein, was sich in der geringen Häufigkeit von pelagischen Fischtaxa widerspiegelt (vgl. Kap. 5.3.3., 5.4.6.). Möglicherweise haben starke ablandige Winde, die auch die Einschaltung von ungeschichteten Lagen erzeugten, das Einschwemmen von organischem Material aus dem Rupelmeer eingeschränkt (vgl. Kap. 3.5.).

Schichttyp III (Schichten 3 bis 7, 29 bis 41): Die marine Verbindung zwischen dem Ablagerungsbereich und dem Sumpfgebiet war hier leicht unterbrochen. Pflanzliche Reste sind in diesen Schichten sehr selten (vgl. Kap. 5.1.4.). Eine Verbindung zu den Seegraswiesen hat aber wahrscheinlich bestanden, da Seegraswiesen-typische Knochenfische (Teleostei) häufig sind (vgl. Kap. 5.4.6.). Zum Rupelmeer existierte eine stabile Verbindung, da auch die Überreste von

pelagischen Fischtaxa häufig sind (vgl. Kap. 5.3.3., 5.4.6.). Die gelegentliche Einschaltung ungeschichteter Lagen zwischen den laminierten Lagen deuten auf ein zweites Aufwirbeln des Sediments am Meeresboden hin, was auf eine Verlagerung der SWB nach unten hindeutet (vgl. Kap. 3.5.). Möglicherweise fehlen auch einige Sturmablagerungen (vgl. Kap. 5.1.4., 5.4.6.). Zur Ablagerungszeit des Schichttyps III könnte die Wassertiefe geringer gewesen sein als bei den Schichttypen I und II, so dass die marine Verbindung zum küstennahen Sumpfgebiet abbriss. Oder aber starke Winde sorgten für eine Vertiefung der SWB, was aber allein die Verringerung des Eintrages aus der litoralen Zone nicht erklären würde (vgl. Kap. 3.5.).

Schichttyp IV (Schichten 14 bis 20): Die marine Verbindung zwischen dem Ablagerungsraum und den Liefergebieten der Fossilien war stark eingeschränkt, denn letztere sind in diesen Schichten außerordentlich selten (vgl. Kap. 5.1.4., 5.3.3., 5.4.6.). Auch hier wäre es möglich, dass Sturmablagerungen nicht überliefert wurden. Diese allein würden jedoch nicht erklären, warum in diesen Schichten der Fossileintrag allgemein zurückgeht. Ablandige Winde würden den Eintrag von pflanzlichen Resten erhöhen, jedoch nicht den treibender Fischkadaver aus dem Rupelmeer. Daher ist es wahrscheinlicher, dass der Schichttyp IV bei einem so niedrigen Wasserstand abgelagert wurde, sodass die Verbindung zu den Seegraswiesen und dem litoralen Sumpfgebieten abbriss. Die Reduzierung des Eintrages aus dem Rupelmeer könnte dann, wie bei Schichttyp II, durch starke ablandige Winde erzeugt worden sein, deren Ablagerungen nicht erhalten geblieben sind.

Der Eintrag von Fossilien in den Ablagerungsbereich des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ wurde offenbar durch Veränderungen des Wasserspiegels, aber auch durch Wetterereignisse gesteuert.

Der Fischschiefer der Tongrube Unterfeld wurde vermutlich in einer nach Westen offenen und sich in diese Richtung vertiefende Bucht abgelagert (vgl. „*Flachwasser-Hypothese*“ nach MICKLICH (1998); vgl. Kap. 3.5.). In dieser Situation ist die Verbindung zum Rupelmeer im Westen nie vollständig abgerissen, während diejenige zwischen dem Ablagerungsraum und den litoralen Gebieten im Osten zeitweise unterbrochen wurde.

5. VERTIKALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

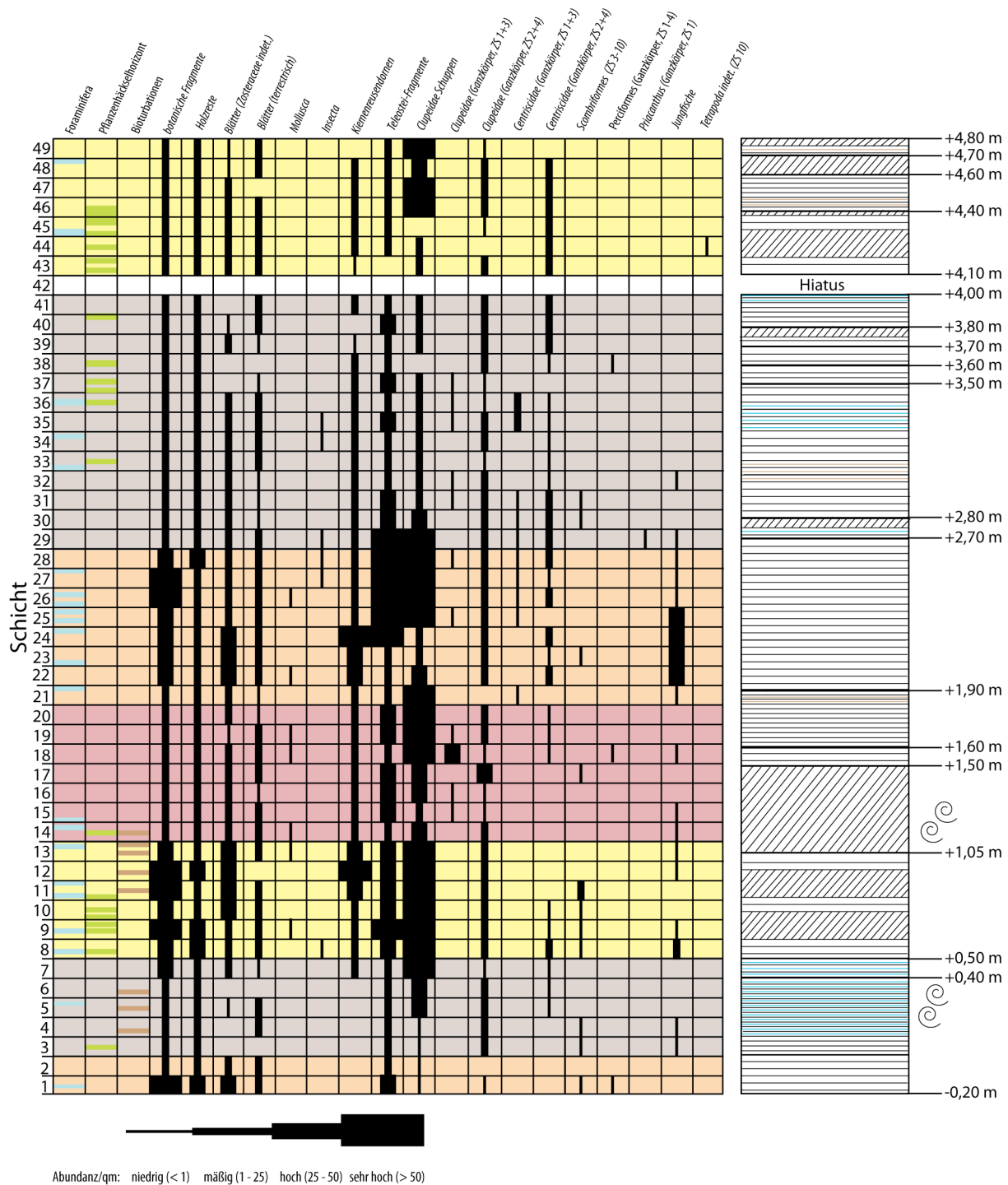


Diagramm 50: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Taxa und Unterscheidung der Schichttypen wie im Text beschrieben: orange: Schichttyp I, gelb: Schichttyp II, grau: Schichttyp III, rot: Schichttyp IV.

6. Statistische Auswertung der Fossilvergesellschaftung des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“

6.1. Zusammensetzung der Daten

Das hier bearbeitete Fossilmaterial stammt aus drei Datenquellen: (1) aus den verfügbaren musealen Sammlungen, (2) aus einer Amateurgrabung und (3) aus einer wissenschaftlichen Grabung (vgl. Kap. 2.1.). Die Funde aus den Sammlungen und der Amateurgrabung sind nicht stratifiziert. Grund hierfür ist, dass die Amateur- und museale Grabungen einen möglichst großen Materialumsatz mit Großfunden zum Ziel hatten. Bei der wissenschaftlich durchgeführten, kleinräumigen Grabung ging es hingegen um das Erfassen aller Funde.

6.1.1. Sammlungen

Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg: Die Funde aus dieser Sammlung stammen aus den Tongruben Dämmelwald I und II (vgl. Kap. 2.1.). Sie umfassen 116 relevante Exemplare, darunter sechs Pflanzen (Embryophyta), 102 Wirbellose (Makroinvertebrata), einen Knorpelfisch (Chondrichthyes), fünf Knochenfische (Teleostei) und zwei Landwirbeltiere (Tetrapoda).

Die häufigsten Wirbellosen (Makroinvertebrata) sind Schnecken (Sorbeoconcha). Die meisten Exemplare stammen von der Kegelschneckengattung *Turris* (Conoidea; vgl. Diagn. 8). Am zweithäufigsten sind Nussmuscheln (Nuculoidea) und Zehnfußkrebse (Decapoda). Weichtiere (Mollusca) zeigen die höchste Diversität.

Wirbeltiere (Vertebrata) sind lediglich durch acht Exemplare belegt und die Diversität ist mit vier Ordnungen gering (Diagn. 51, Tab. 47/Anhang).

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

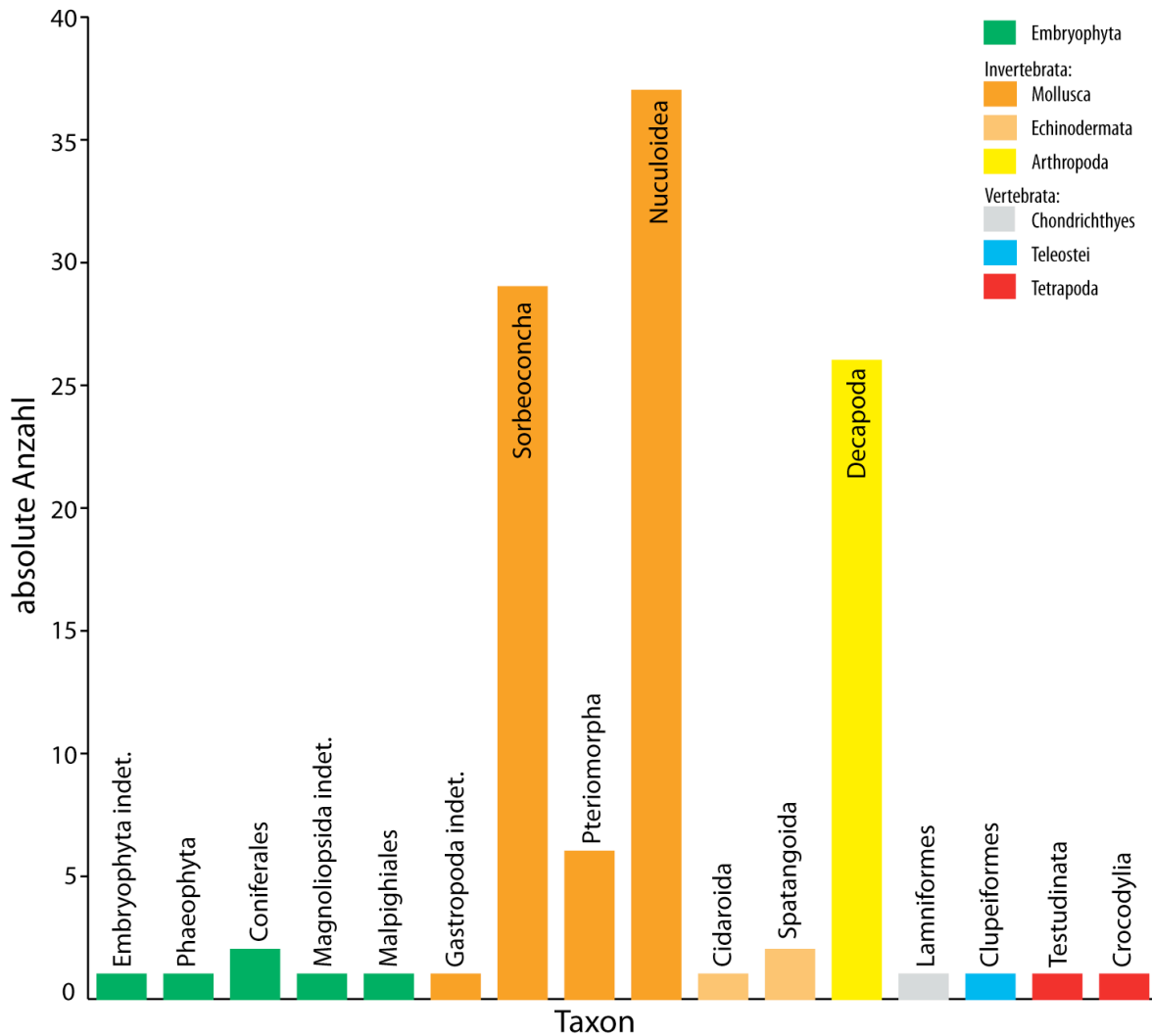


Diagramm 51: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des GEOW (Stand: April 2014).

Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe: Die Fossilien in dieser Sammlung stammen aus den Tongruben Frauenweiler, Rohrlach und Unterfeld (vgl. Kap. 2.1.). Es wurden 3.218 Exemplare ausgewertet, die sich auf 320 Pflanzen (Embryophyta), 310 Wirbellose (Invertebrata), 16 Knorpelfische (Chondrichthyes), 2.546 Knochenfische (Teleostei) und 26 Landwirbeltiere (Tetrapoda) verteilen (Diagr. 52).

Der Großteil des Pflanzenmaterials ist unbestimmt (Embryophyta indet., Tracheophyta indet., Spermatophytina indet., Coniferopsida indet., Magnoliopsida indet.). Die häufigsten bestimmaren Exemplare stammen von Algen (Phycophyta) und Seegrasgewächsen (Zosteraceae).

Wirbellose (Makroinvertebrata) sind divers und verteilen sich auf 15 Ordnungen und Teilklassen, darunter 140 Weichtiere (Mollusca), 29 Stachelhäuter (Echinodermata) und 141 Gliederfüßer (Arthropoda). Am häufigsten sind Nussmuscheln (Nuculoidea) und Käfer (Coleoptera). Etliche der Wirbellosen (Makroinvertebrata) sind aber unbestimmt.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Knorpelfische (Chondrichthyes) sind durch 16 Körperfossilien belegt, wovon zehn unbestimmt sind. Die übrigen Exemplare stammen von den Makrelenhaien *Carcharias* sp. und *Isurulamna* sp. (Lamniformes) und dem Adlerrochen *Weissobatis micklichi* HOVESTADT 1999 (Myliobatiformes).

Knochenfische (Teleostei) sind häufig. Es handelt sich vorrangig um Heringsartige (Clupeiformes), Seenadelartige (Syngnathiformes) und Barschartige (Perciformes).

Neben unbestimmten Schildkröten- (Testudinata) und Vogelresten (Aves) enthält diese Sammlung auch Einzelexemplare des spechtartigen Vogels *Rupelramphastoides knopfi* MAYR 2005 (Piciformes), des Sperlingsartigen *Wieslochia weissii* MAYR & MANEGOLD 2006 (Passeriformes) und dem Urraubtier *Apterodon rauenbergensis* FREY et al. 2010 (Creodonta). Der Sturmvogel *Rupelornis brodkorbi* CHENEVAL 1995 (Procellariiformes) ist durch drei Exemplare belegt und der Kolibri *Eurotrochilus inexpectatus* MAYR 2004 (Apodiformes) durch zwei (Tab. 48/Anhang).

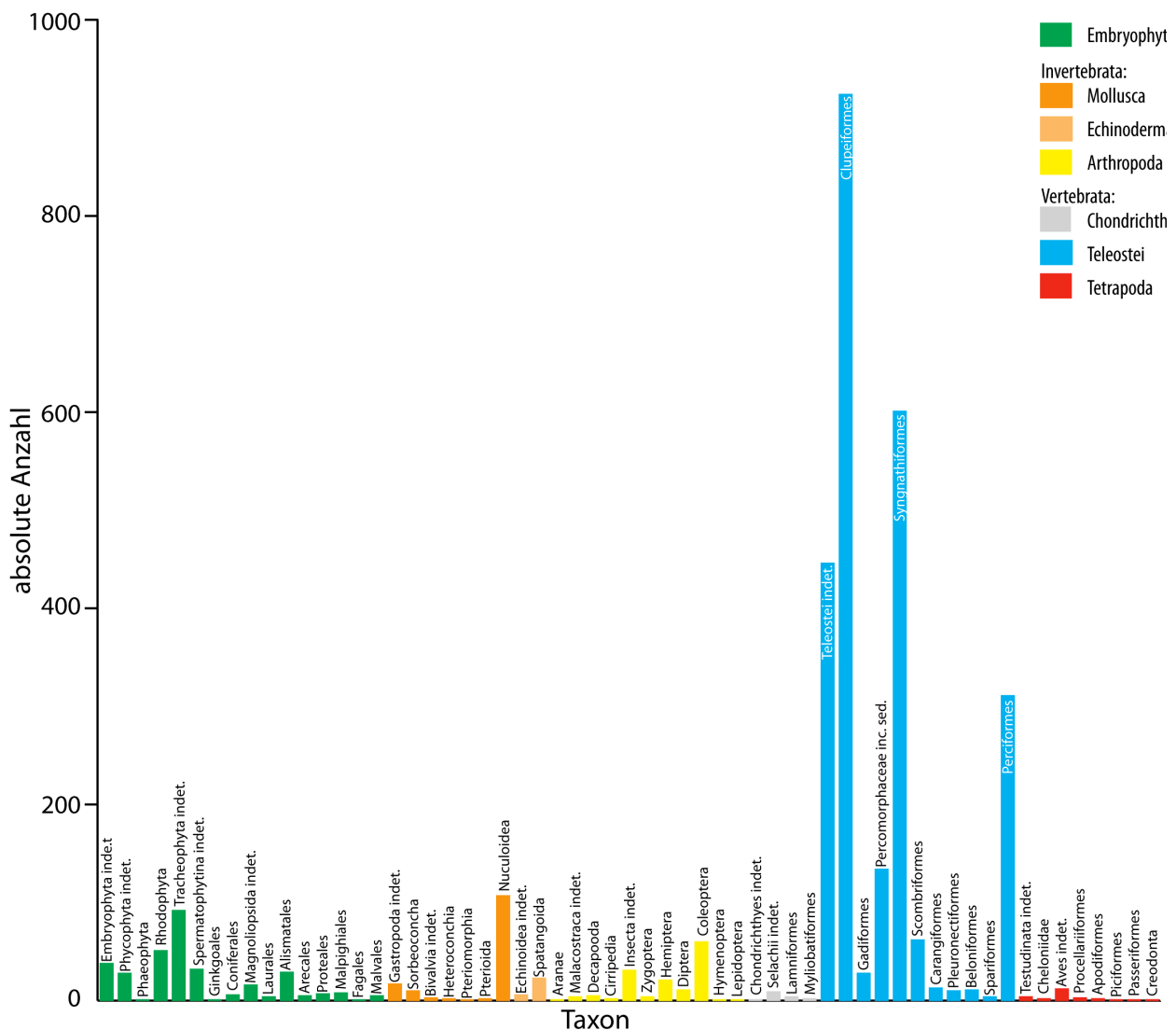


Diagramm 52: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des SMNK (Stand: Dezember 2014).

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Hessisches Landesmuseum Darmstadt: In dieser Sammlung befinden sich 1.634 auswertbare Exemplare: 28 Pflanzen (Embryophyta), 22 Wirbellose (Makronvertebrata), acht Knorpelfische (Chondrichthyes), 1.557 Knochenfische (Teleostei) und 27 Landwirbeltiere (Tetrapoda; Diagn. 53). Zehn Teilklassen und Ordnungen von Pflanzen (Embryophyta) und Wirbellosen (Makroinvertebrata) sind durch einzelne Exemplare in dieser Sammlung repräsentiert. Der Großteil ist unbestimmt. Knorpelfische (Chondrichthyes) sind durch vier nicht näher bestimmbare Exemplare sowie durch Einzelfunde des Makrelenhais *Carcharias gustrowensis* WINKLER 1875 und des Riesenhais *Keasius parvus* LERICHE 1908 (Lamniformes) sowie der Grundhaien *Physogaleus latus* STORMS 1894 und *Triakis kelleri* HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 2002 (Carcharhiniformes) vertreten. Knochenfische (Teleostei) zeigen die höchste Abundanz und Diversität. Die häufigsten Gruppen sind in absteigender Reihenfolge Makrelen- und Thunfische (Scombriformes), Barschartige (Perciformes), Seenadelartige (Syngnathiformes) und Heringsartige (Clupeiformes). Landwirbeltiere (Tetrapoda) sind durch zwölf nicht näher bestimmbare Schildkröten- und Vogelreste (Aves), durch Einzelfunde der Gabelschwanzseekuh „*Kaupitherium* cf. *schinzii*“ KAUP 1838 (Sirenia), des Kolibris *Eurotrochilus inexpectatus* MAYR 2004 (Apodiformes) und des Todis *Palaeotodus itiardiensis* MOURER-CHAVIRÉ 1985 (Coraciiformes) vertreten (Tab. 49/Anhang).

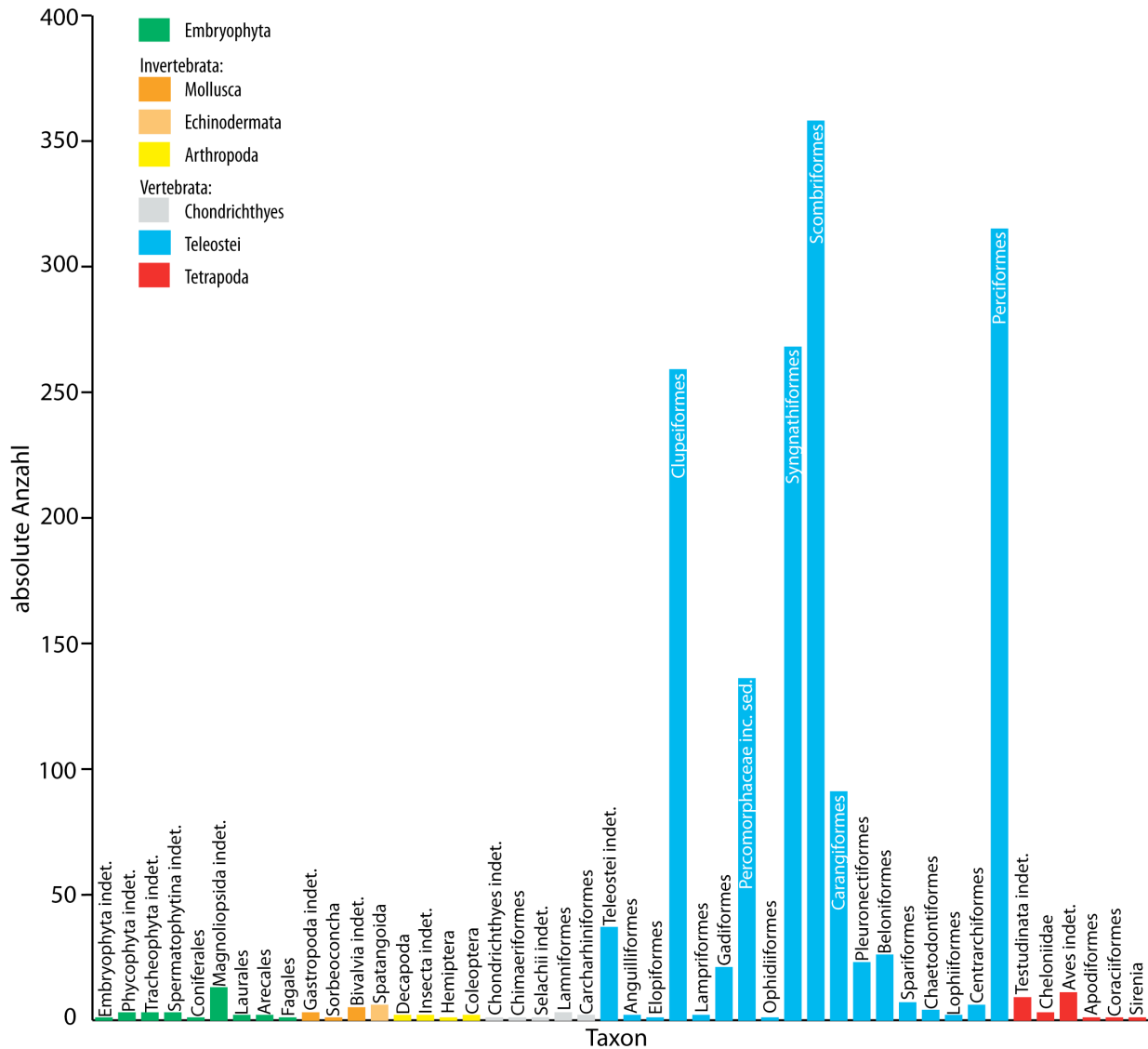


Diagramm 53: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität in der paläontologischen Sammlung des HLMD (Stand: März 2015).

Forschungsinstitut Senckenberg Frankfurt am Main: Die Funde in der Sammlung des SMF stammen ausschließlich aus der Tongrube Unterfeld (vgl. Kap. 2.1.). 42 Exemplare wurden ausgewertet und entsprechen 35 Knochenfischen (Teleostei) und sieben Landwirbeltieren (Tetrapoda; Diagr. 54).

Die Knochenfische (Teleostei) zeigen die höchste Abundanz und Diversität. Die meisten Exemplare stammen von Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) sowie von Heringsartigen (Clupeiformes).

Innerhalb der Landwirbeltiere (Tetrapoda) ist die Sturmvogel-Gattung *Rupelornis* am häufigsten. Diese wird durch jeweils zwei Exemplare von *R. brodkorbi* CHENEVAL 1995 und *R. definitus* BENEDEN 1871 (Procellariiformes) vertreten. Daneben liegen ein nicht näher bestimmbarer Vogelrest und jeweils ein Exemplar des Laufhühnchens *Turnipax oechserlorum* MAYR &

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

KNOPF 2007 (Charadriiformes) und des Todi *Palaeotodus itiardiensis* MOURER-CHAVIRÉ 1985 (Coraciiformes) vor (Tab. 50/Anhang).

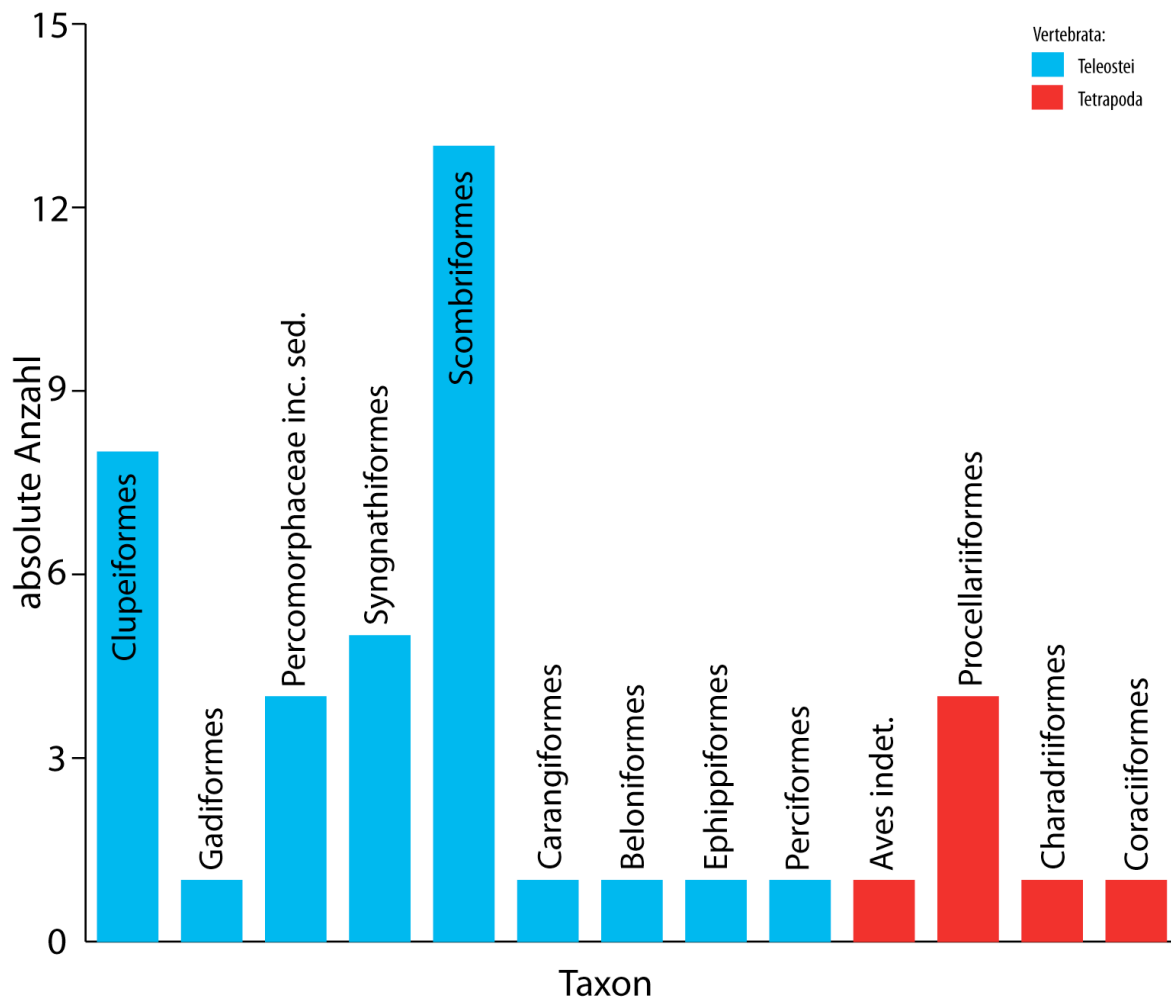


Diagramm 54: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des SMF (Stand: November 2015).

Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart: In der Sammlung des SMNS wurden 3.336 Exemplare ausgewertet, die allesamt aus der Tongrube Unterfeld stammen: 563 Pflanzen (Embryophyta), 215 Wirbellose (Makroinvertebrata), zwei Knorpelfische (Chondrichthyes), 2.528 Knochenfische (Teleostei) und 30 Landwirbeltiere (Tetrapoda; Diagn. 55).

Die Pflanzen (Embryophyta) haben mit 20 Ordnungen die höchste Diversität. Neben den nicht näher bestimmten Blütenpflanzen (Magnoliopsida indet.) stammen die meisten Exemplare von Lorbeerartigen (Laurales) und Silberbaumartigen (Proteales).

Die häufigsten Weichtiere (Mollusca) sind Schnecken (Gastropoda) der Art *Drepanocheilus* cf. *speciosus* SCHLOTHEIM 1820 (Stromboidea). Die häufigsten Gliederfüßer (Arthropoda) sind neben nicht näher bestimmten Insekten (Insecta indet.) die Käfer (Coleoptera).

Die Sammlung enthält das unbestimmte Ganzkörperfossil eines Haies (Selachii indet.).

Unter den Knochenfischen (Teleostei) sind Heringsartige (Clupeiformes), Seenadelartige (Syngnathiformes) und Barschartige (Perciformes) am häufigsten.

Innerhalb der Landwirbeltiere (Tetrapoda) sind Schildkröten (Testudinata) und Vögel (Aves) am häufigsten, aber es gibt auch ein Exemplar einer Seekuh (Sirenia) und der Fledermaus *Myotis horaceki* ZIEGLER 2003 (Chiroptera; Tab. 51/Anhang).

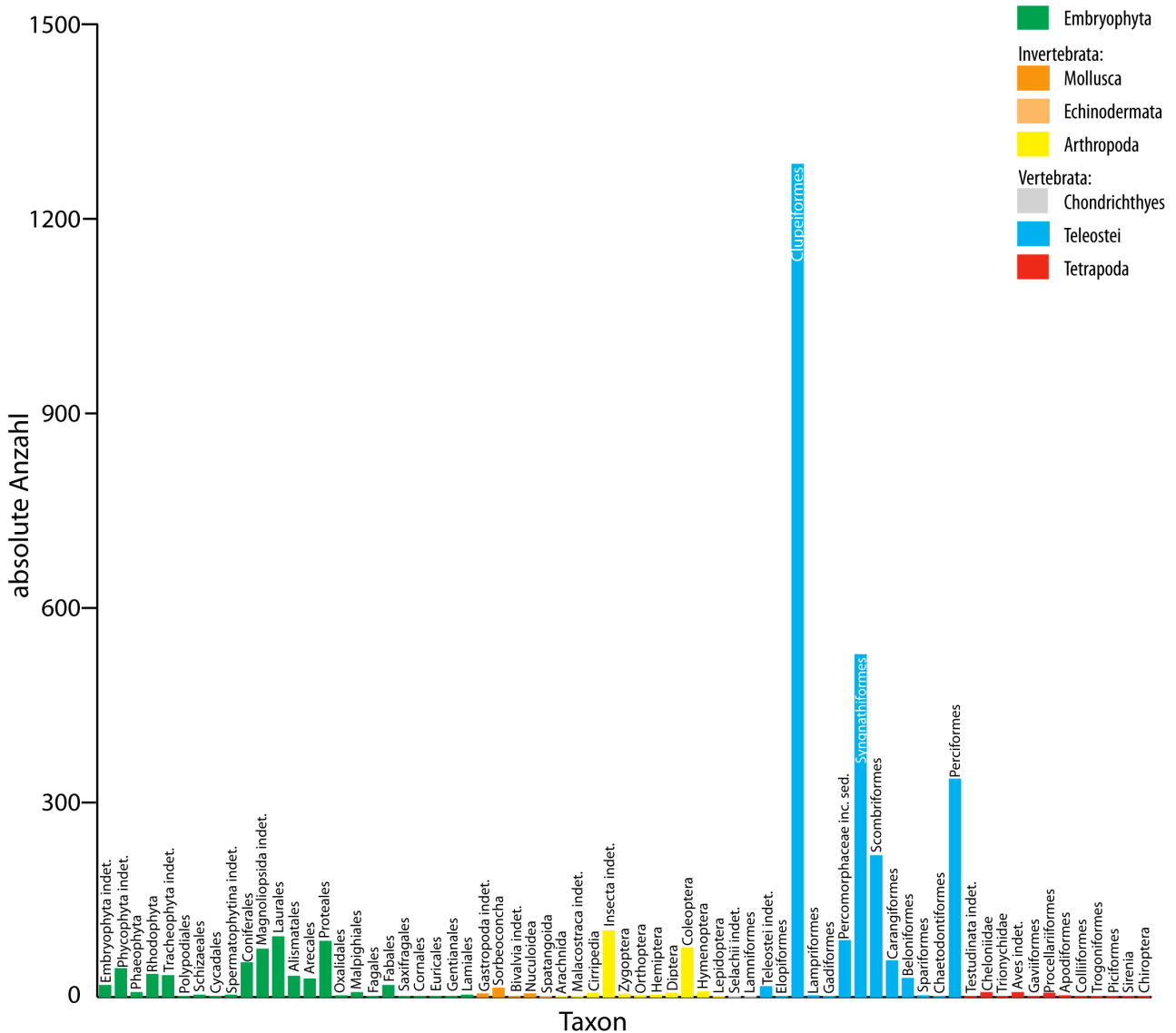


Diagramm 55: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa in der paläontologischen Sammlung des SMNS (Stand: März 2016).

6.1.2. Amateurgrabung

Während der Amateurgrabung in den Jahren 2014 und 2015 wurden 1231 Stücke geborgen, die in diese Analyse mit aufgenommen wurden. Es handelt sich um 261 Pflanzen (Embryophyta), sieben

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Wirbellose (Invertebrata) und 963 Knochenfische (Teleostei; Diagr. 56).

Pflanzen (Embryophyta) haben mit acht Ordnungen die höchste Diversität; bei den meisten Funden handelt es sich um Algen (Phycophyta) oder nicht näher bestimmte Reste (Embryophyta indet.).

Es wurden sechs Exemplare von Wirbellosen (Makroinvertebrata) geborgen, darunter ein Exemplar der Meermantel *Glycymeris* sp. (Pteriomorpha), sowie jeweils zwei Exemplare von nicht näher bestimmbar Insekten (Insecta indet.), Schnabelkerfen (Hemiptera) und Käfern (Coleoptera).

Knochenfische (Teleostei) sind am häufigsten und innerhalb dieser Gruppe sind es die Herings- (Clupeiformes) und Seenadelartigen (Syngnathiformes; Tab. 52/Anhang).

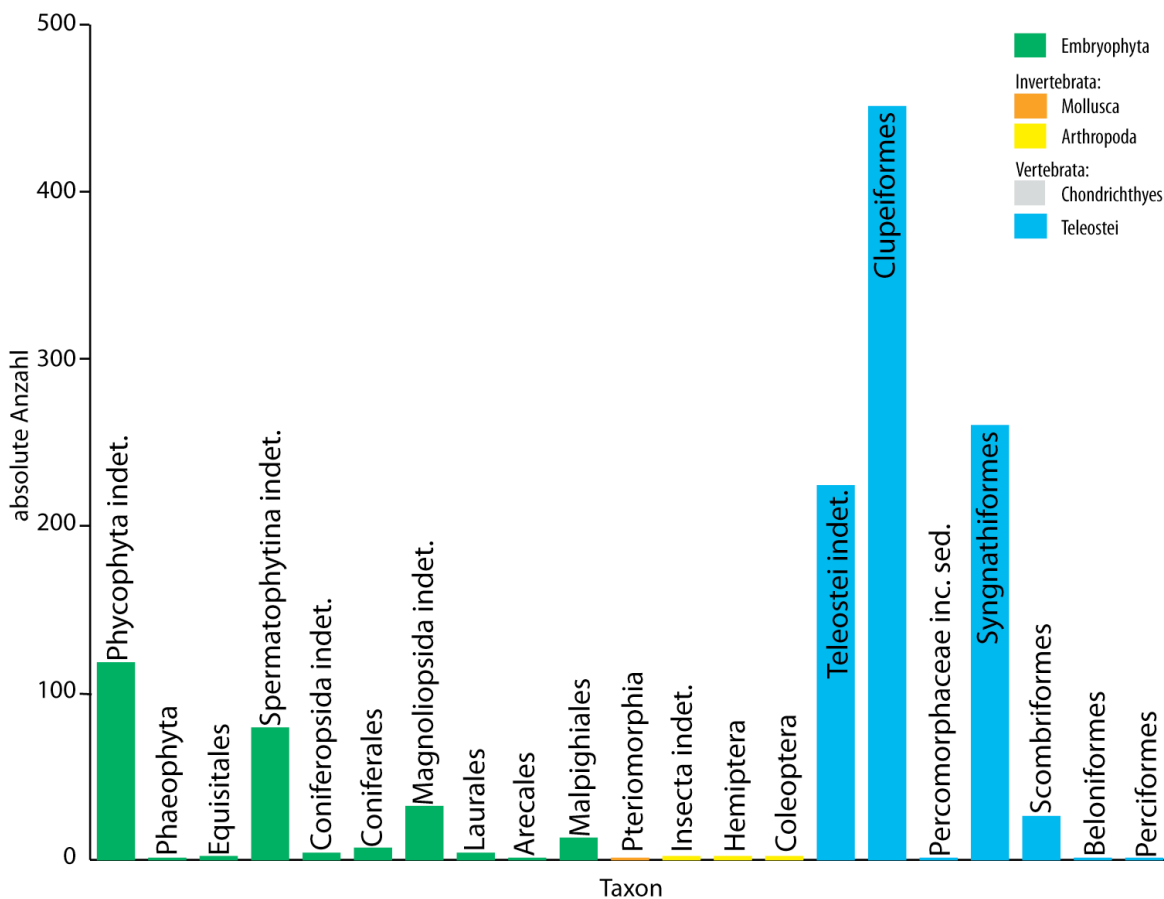


Diagramm 56: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa aus der Amateurgrabung.

6.1.3. Wissenschaftliche Grabung

Die wissenschaftliche Grabung lieferte 6.098 taxonomisch relevante Funde. Diese verteilen sich auf 2.416 Pflanzen (Embryophyta), 17 Wirbellose (Makroinvertebrata), 3.663 Knochenfische (Teleostei) und ein Landwirbeltier (Tetrapoda; Diagr. 57).

Die höchste Abundanz und Diversität zeigen die Pflanzen (Embryophyta), bei denen sieben Ordnungen unterschieden wurden. Neben den nicht näher bestimmbar Resten

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

(Embryophyta indet., Spermatophytina indet.), sind Seegrasgewächse (Zosteraceae, Alismatales) signifikant am häufigsten. 17 Wirbellose (Makroinvertebrata) verteilen sich auf vier Teilklassen und Ordnungen, die nur durch wenige Funde belegt sind. Der Großteil ist nicht näher bestimmbar. Die häufigsten Knochenfischreste stammen von Heringsartigen (Clupeiformes) und Seenadelartigen (Syngnathiformes).

Landwirbeltiere (Tetrapoda) sind durch einen isolierten Knochen belegt, der entweder von einem Vogel (Aves) oder einer Fledermaus (Microchiroptera) stammt (Tab. 53/Anhang).

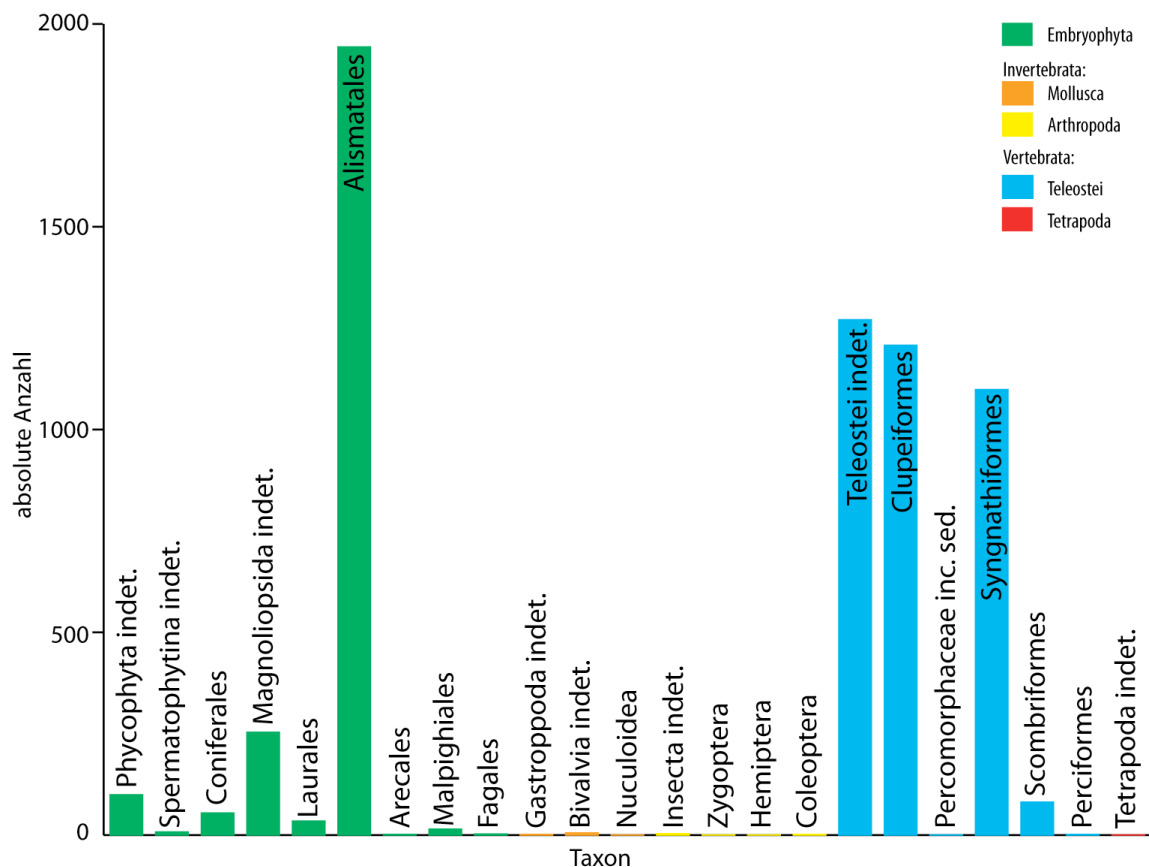


Diagramm 57: Absolute Häufigkeitsverteilung und Diversität der Taxa aus der wissenschaftlichen Grabung.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

6.2. Vergleich zwischen den Datenquellen

Im Folgenden werden die Häufigkeitsverteilungen aus den unterschiedlichen Aufsammlungen gegenübergestellt und diskutiert.

6.2.1. Pflanzen (Embryophyta)

6.2.1.1. Häufigkeit und Diversität

Im Vergleich zu den Belegen aus den durchgeführten Projektgrabungen, ist die Diversität der Pflanzen-Taxa in den musealen Sammlungen deutlich höher (Diagr. 58, Tab. 54/Anhang). Die Anzahl der während der wissenschaftlichen Grabung aufgefundenen Fragmente von Seegrasgewächsen (Zosteraceae, Alismatales) übertrifft diejenige aus der Amateurgrabung signifikant (vgl. Kap. 4.1.2.).

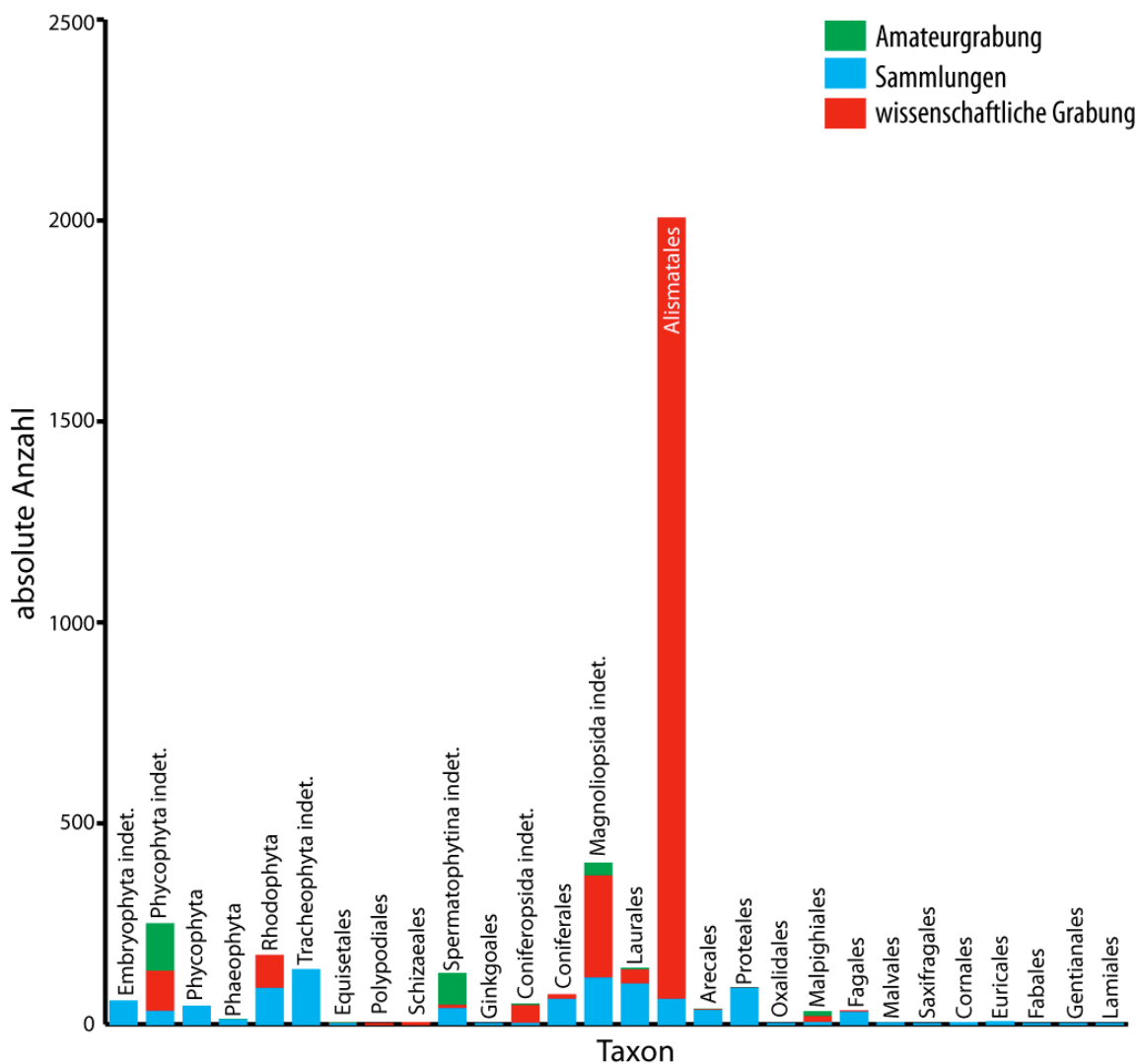


Diagramm 58: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen und Diversität der Pflanzen-Taxa in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

6.2.1.2. Erhaltungszustände

In den institutionellen Sammlungen wurden 706 Pflanzenfossilien taphonomisch untersucht. Über 77 % dieser Überreste sind isolierte Nadel- und Laubblätter. Die übrigen bekannten erhaltenen Elemente, wie z. B. Fragmente oder Holzreste, sind deutlich seltener (Diagr. 59 a, Tab. 55/Anhang). 392 Pflanzenfossilien aus der Amateurgrabung verteilen sich annähernd gleichmäßig auf Lager von marinen Algen (Phycophyta), Blätter von Landpflanzen und unbestimmbare Holz- und Pflanzenfragmente. Zapfen von Nadelgehölzen (Coniferopsida) und andere Fruktifikationen wurden nur vereinzelt gefunden (Diagr. 59 b, Tab. 56/Anhang).

75 % der 9.287 Pflanzenfossilien aus der wissenschaftlichen Grabung sind unbestimmbare Blatt- und Holzfragmente. Blattfragmente von Seegrasgewächsen (Zosteraceae) machen 21 % der pflanzlichen Überreste aus (Diagr. 59 c, Tab. 57/Anhang, vgl. Kap. 4.1.4.).

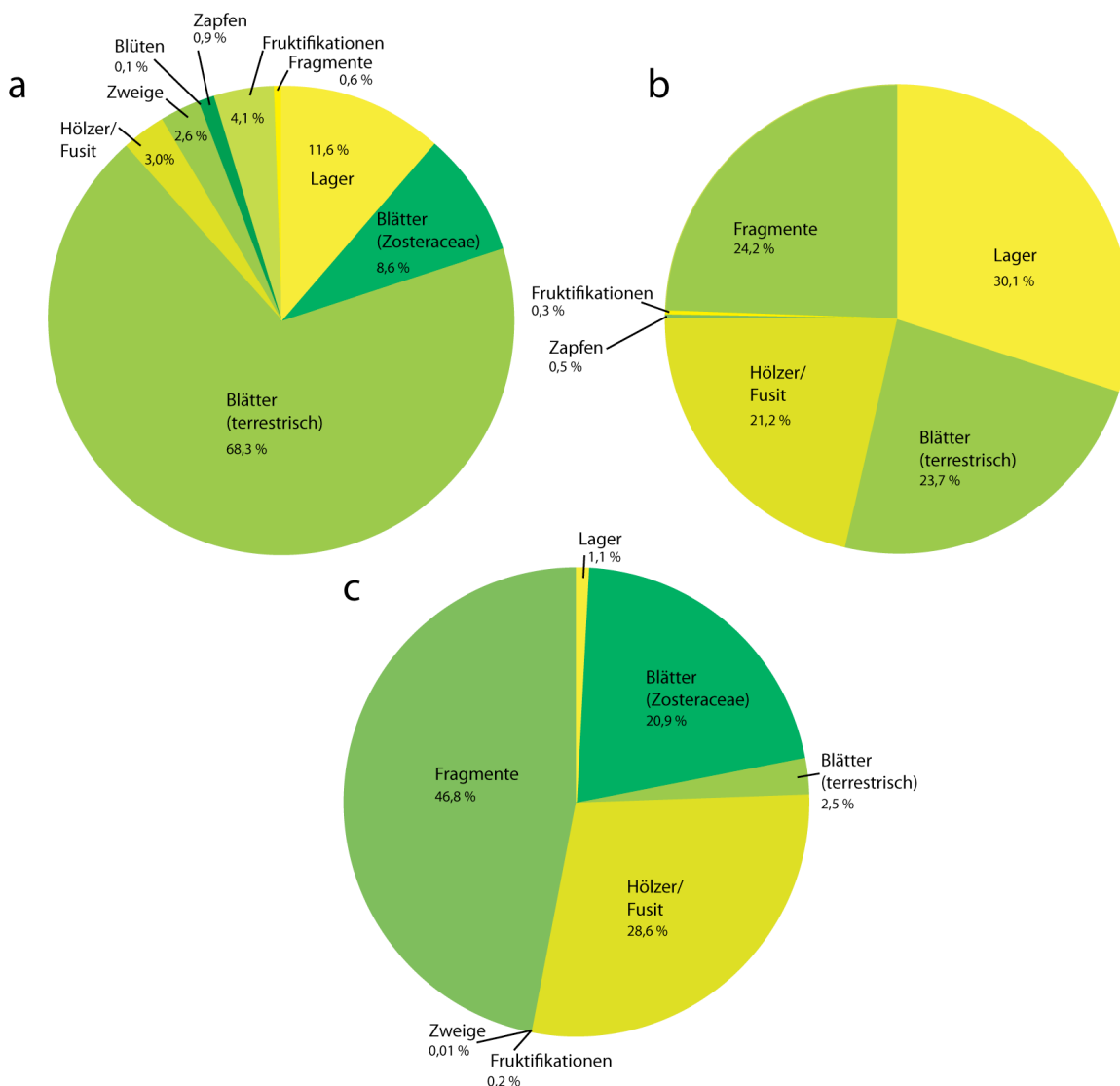


Diagramm 59: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilungen der erhaltenen Elemente von Pflanzen (Embryophyta): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

6.2.1.3. Schlussfolgerung

In den Sammlungen des GEOW und HLMD sind nur wenige Pflanzenfossilien enthalten, während sie in den Sammlungen des SMNK und SMNS zahlreich sind (vgl. Diagr. 51 bis 55). Dies ist in den Forschungsschwerpunkten der jeweiligen Institute begründet. Fossile Pflanzen werden am SMNS schwerpunktmäßig bearbeitet und wurden in der Vergangenheit bevorzugt aufgesammelt.

Vollständige Laubblätter sind in den institutionellen Sammlungen deutlich häufiger als in der wissenschaftlichen Grabung, wo jedes Fossil aufgenommen wurde (vgl. Diagr. 59). Das große Interesse der Paläobotaniker an den Kutikeln sorgte für eine Anreicherung von Laubblättern in den musealen Sammlungen (vgl. Kap. 6.2.1.). Demgegenüber wurden Fragmente und Holzbruchstücke, die während der wissenschaftlichen Grabung zahlreich registriert wurden, von Amateurpaläontologen nur selten aufgesammelt und gelangten so gut wie nie in eine museale Sammlung. Dort werden vorrangig Exemplare mit hohem Ausstellungspotential aufbewahrt. Der Umstand, dass die meisten Museen ihre Sammlungen über Amateurpaläontologen akquirieren, führte daher dazu, dass Pflanzen (Embryophyta) in dortigen Sammlungen unterrepräsentiert sind. Das gilt auch für die Fragmente der Seegrasblätter, welche von Amateuren bisher ebenfalls nicht systematisch gesammelt wurden. Darüber hinaus entschieden die Amateurpaläontologen selbst, welche Überreste sie meldeten und welche nicht.

6.2.2. Marine Wirbellose (Makroinvertebrata)

6.2.2.1. Häufigkeit und Diversität

Die hohe Diversität von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) zeigt sich ausschließlich in den musealen Sammlungen, insbesondere in denjenigen des GEOW, SMNK und SMNS (vgl. Diagr. 51 bis 55). Demgegenüber ist die Häufigkeit von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) in den beiden Projektgrabungen sehr gering (Diagr. 60, Tab. 58/Anhang).

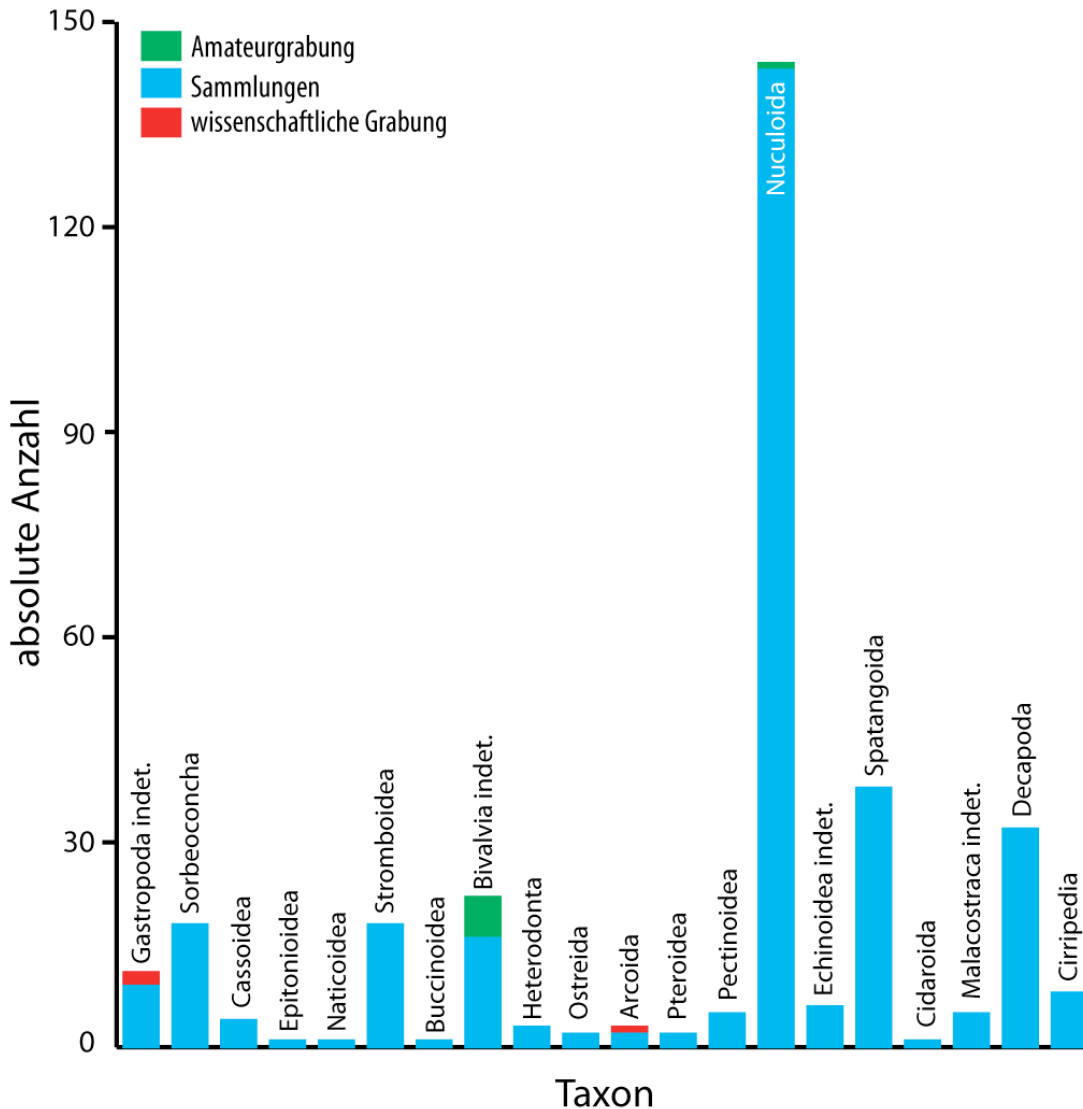


Diagramm 60: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilung und Diversität der marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

6.2.2.2. Erhaltungszustände

88 % der 326 untersuchten erhaltenen Elemente in den institutionellen Sammlungen entfallen auf Aragoit- und Kalzitschalen von Weichtieren (Mollusca) und Stachelhäutern (Echinodermata). Bei den übrigen handelt es sich um Chitinpanzer, Einzelelemente und Fragmente von Zehnfußkrebsen (Decapoda) und Rankenfußkrebsen (Cirripedia; Diagr. 61 a, Tab. 59/Anhang).

Während der beiden Projektgrabungen wurden nur wenige Schalen von Weichtieren (Mollusca) gefunden (Diagr. 61 b, Tab. 60/Anhang). Die Amateurpaläontologen meldeten lediglich ein Aragonitgehäuse einer Schnecke (Gastropoda). Während der wissenschaftlichen Grabung wurden dagegen neun Exemplare gefunden. Hierbei stammen sieben Kalzitschalen von Muscheln (Bivalvia) und zwei Aragonitgehäuse von Schnecken (Gastropoda; Tab. 68/Anhang).

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

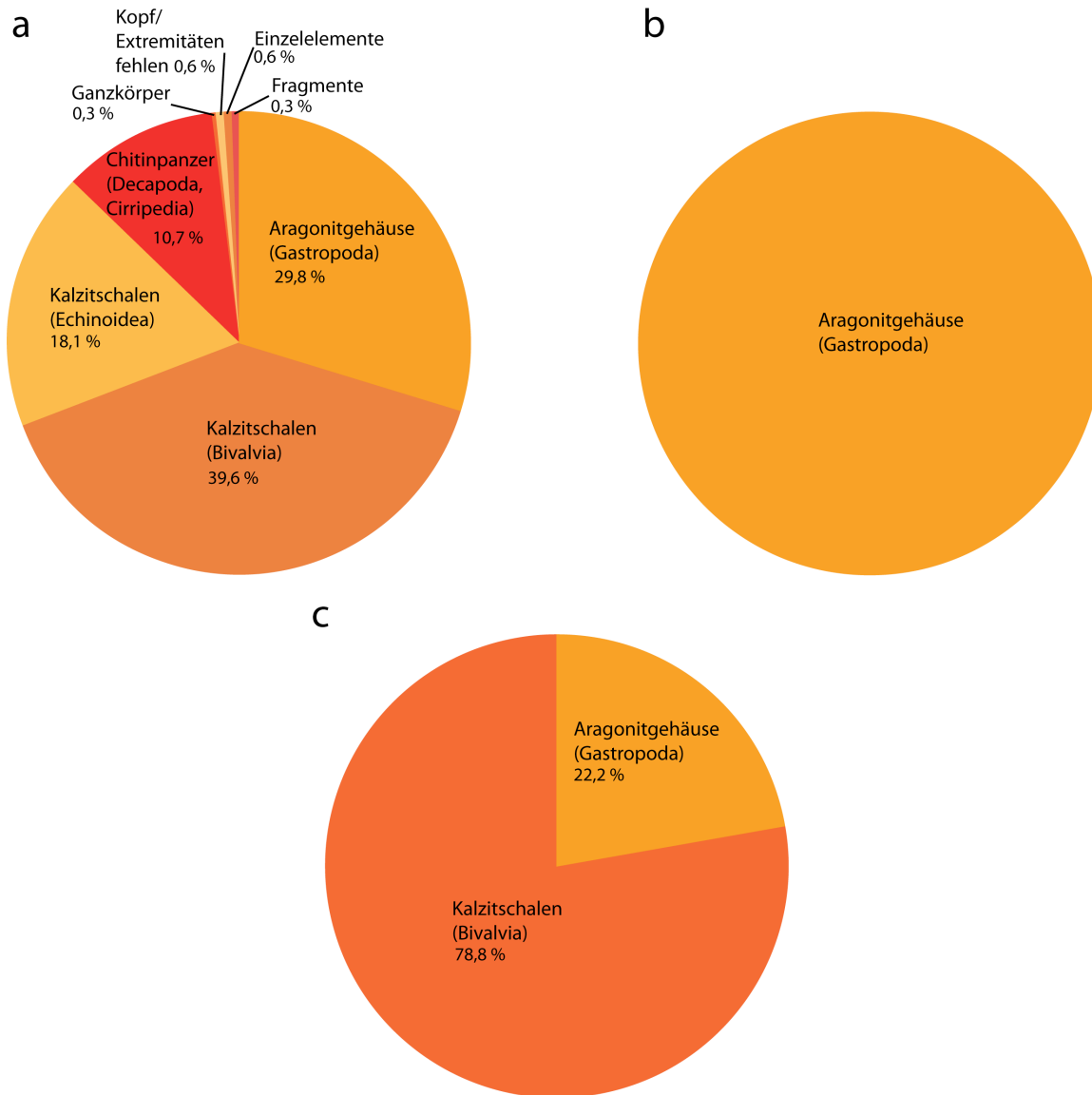


Diagramm 61: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6.2.2.3. Schlussfolgerung

Überreste von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) sind normalerweise leicht im Tonstein zu erkennen. Daher ist nicht anzunehmen, dass viele dieser Fossilien bei Grabungen von Berufs- und Amateurpaläontologen übersehen wurden. Die Ergebnisse aus Kap. 4 und 5 haben gezeigt, dass marine Wirbellose im Fischechiefer sehr selten sind. Vermutlich ist ihre hohe Abundanz und Diversität in den Sammlungen auf den langen Zeitraum zurückzuführen, in dem die Sammlungsbestände aufgebaut wurden. Die marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) wurden wahrscheinlich größtenteils eher zufällig in den Sammlungen aufgenommen und haben sich so im Laufe der Jahrzehnte dort angereichert.

6.2.3. Landlebende Wirbellose (Makroinvertebrata)

6.2.3.1. Häufigkeit und Diversität

Die hohe Diversität von landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) geht vor allem auf die Sammlungen des SMNK und SMNS zurück (vgl. Diagr. 51 bis 55). Demgegenüber haben die Amateur- und die wissenschaftliche Grabung nur wenige Funde von Insekten (Insecta) geliefert (Diagr. 62, Tab. 62/Anhang) und zwar vor allem nicht näher bestimmbare Insekten (Insecta indet.) und Käfer (Coleoptera; Diagr. 62).

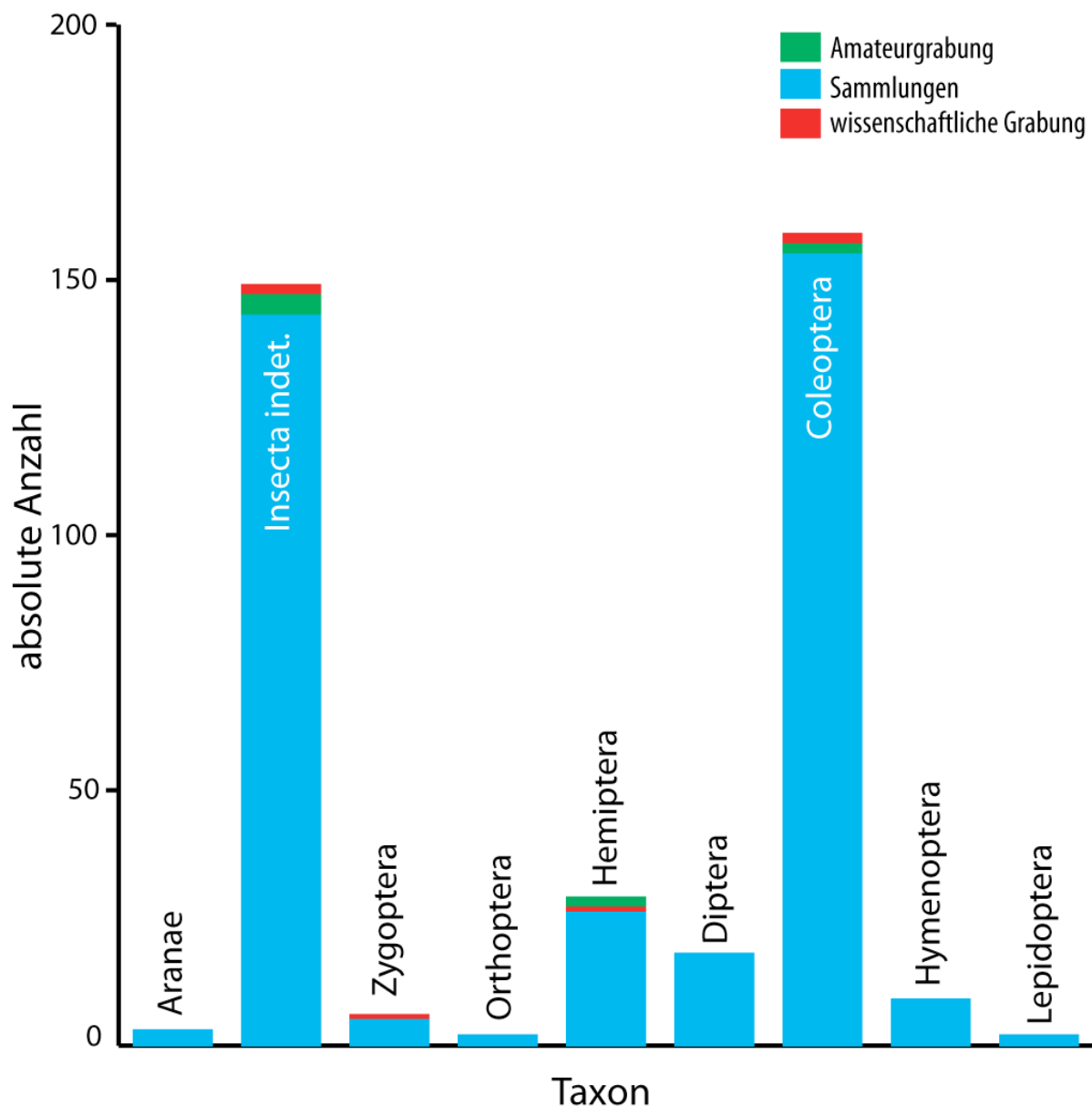


Diagramm 62: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen und Diversität der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata) in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

6.2.3.2. Erhaltungszustände

In den institutionellen Sammlungen entfällt fast die Hälfte der 384 erhaltenen Elemente auf Ganzkörper ohne Kopf und/oder Extremitäten (46,1 %). Die andere Hälfte verteilt sich annähernd gleichmäßig auf: 15,1 % Ganzkörper, 15,1 % Einzelelemente und 7,0 % Fragmente. Ein Ganzkörper und zwei Ganzkörper ohne Kopf und/oder Extremitäten stammen von Kieferklauenträgern (Chelicerata), die Übrigen von Insekten (Insecta; Diagr. 63 a, Tab. 63/Anhang). Während der Amateurgrabung wurden sechs Ganzkörper-Insekten ohne Kopf und/oder Extremitäten und vier Einzelelemente aufgefunden (Diagr. 63 b, Tab. 64/Anhang).

Im Rahmen der wissenschaftlichen Grabung waren es ein Ganzkörper, fünf Ganzkörper ohne Kopf und/oder Extremitäten und ein Einzelelement (Diagr. 63 c, Tab. 65/Anhang).

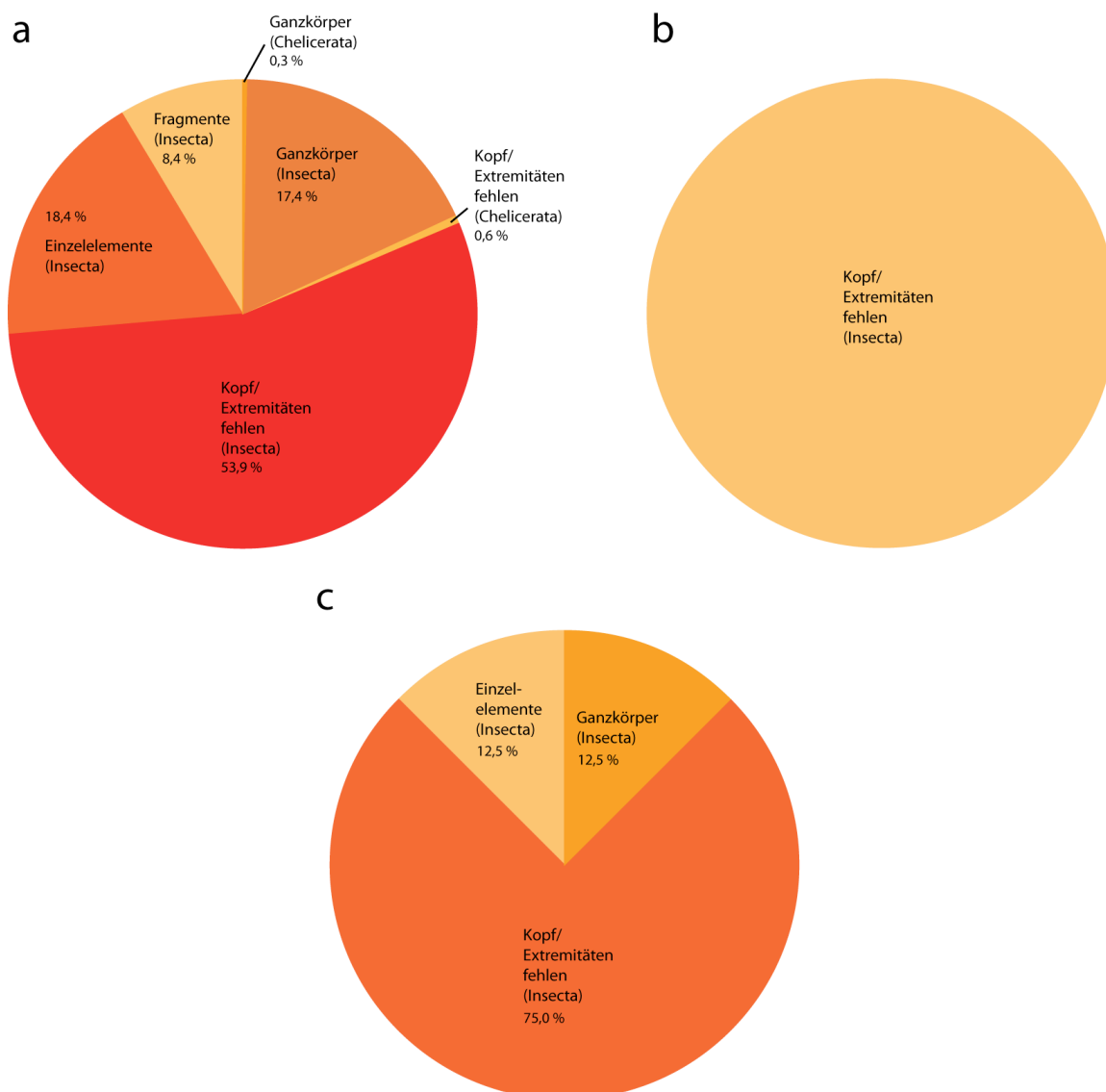


Diagramm 63: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilungen der erhaltenen Elemente von landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6.2.3.3. Schlussfolgerung

Die Überreste von Kieferklauenträgern (Chelicerata) und Insekten (Insecta) sind in der Regel sehr klein und in dem dunklen Tonsediment nur schwer erkennbar. Es ist daher wahrscheinlich, dass diese bei Aufsammlungen in der Vergangenheit häufig übersehen oder einfach nicht gesammelt wurden, weil sie als bedeutungslos eingestuft wurden. Darüber hinaus haben die forschenden Institutionen vor allem ein Interesse an möglichst vollständigen Exemplaren, welche taxonomisch eingeordnet werden können, und die musealen Sammlungen an Stücken, die sich zu Ausstellungszwecken eignen.

6.2.4. Knorpelfische (Chondrichthyes)

6.2.4.1. Häufigkeit und Diversität

Während den Grabungsarbeiten wurden keine Ganzkörperfossilien von Knorpelfischen aufgefunden (Tab. 66/Anhang; vgl. Kap. 4.4.2.). Daher sind keine Vergleiche zwischen den Sammlungen und den Projektgrabungen möglich.

6.2.4.2. Zerfallsstufen

Die 308 taphonomisch untersuchten Sammlungsexemplare verteilen sich auf 99 Zähne, 191 Kiemenreusendornen (isoliert/Bündel), 27 Wirbel und Wirbelsäulenfragmente sowie zwei Ganzkörper. Es handelt sich hauptsächlich um die Zerfallsstufen 5 bis 10, wobei isolierte Zähne und Kiemenreusendorne der Zerfallsstufen 9 und 10 deutlich überwiegen (Diagr. 64 a, Tab. 67/Anhang). Aus der Amateur- und der wissenschaftlichen Grabung wurden 2.408 Exemplare taphonomisch analysiert. Am signifikant häufigsten sind auch hier isolierte Kiemenreusendornen (Zerfallsstufe 10; Tab. 68, 69/Anhang). Zähne, Wirbel und artikulierte Kiemenreusendornbündel wurden nur vereinzelt aufgefunden (Diagr. 64 b, c).

Überreste von Rochen (Batoidea) sind nur aus den Sammlungen bekannt (Tab. 70/Anhang, vgl. Kap. 4.4.3.).

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

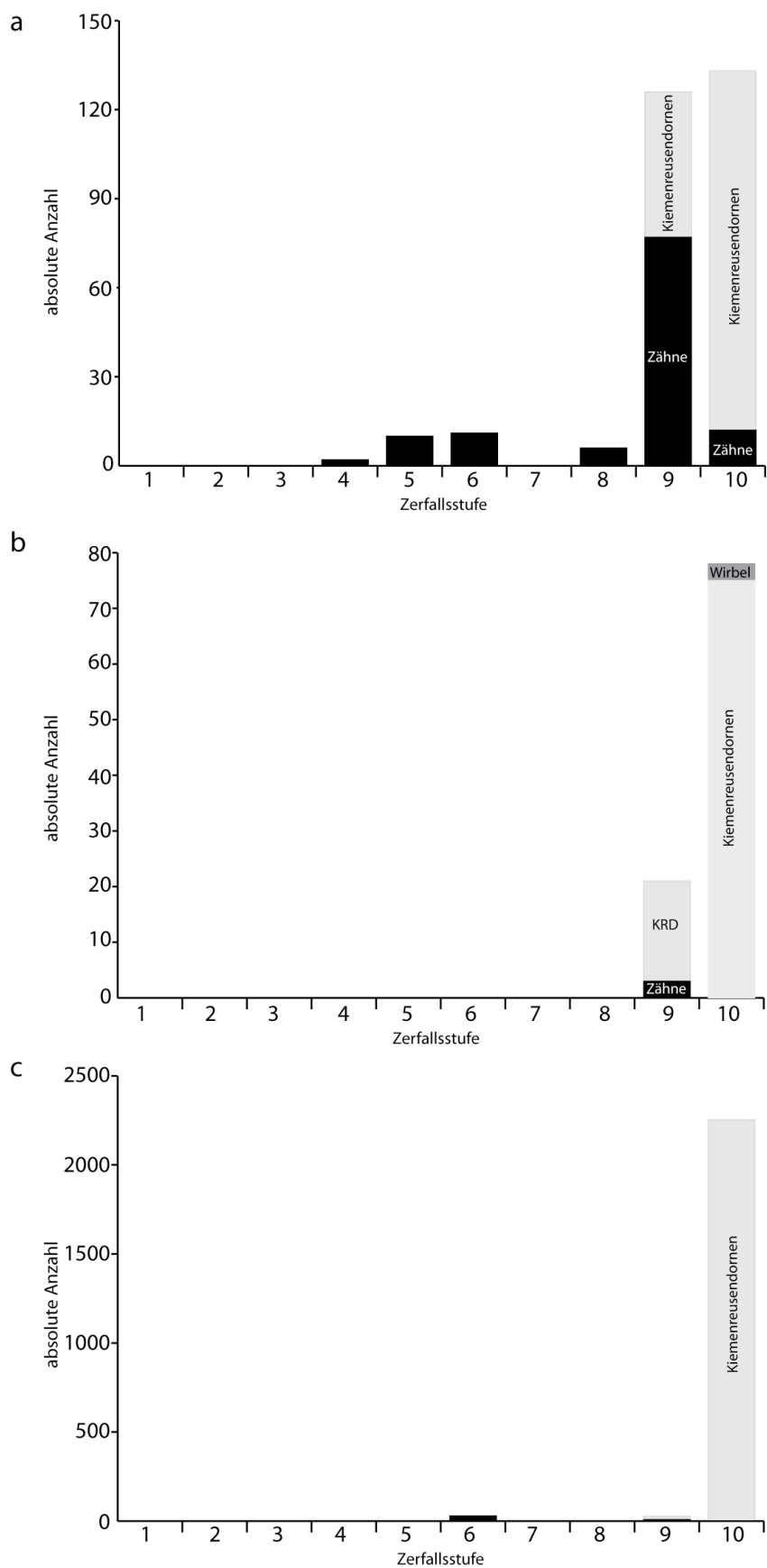


Diagramm 64: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen von Haien (Selachii): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6.2.4.3. Schlussfolgerung

Die Knorpelskelette von Haien (Selachii) und Rochen (Batoidea) haben ein schlechtes Erhaltungspotential (vgl. Kap. 4.4.4.). Wurden in der Vergangenheit gefunden, ist davon auszugehen, dass diese in institutionelle Sammlungen eingegliedert wurden. Aufgrund ihrer hohen Attraktivität und ihrer diagnostischen Merkmale wurden Haizähne wahrscheinlich auch häufig in die Sammlungen eingebracht. Demgegenüber wurden die häufigen Kiemenreusendornen nur selten gesammelt.

6.2.5. Knochenfische (Teleostei)

6.2.5.1. Häufigkeit und Diversität

Die Diversität ist mit 17 Ordnungen in den Sammlungen am höchsten. Während der wissenschaftlichen Grabung wurden Taxa aus fünf (Clupeiformes, Percomorphaceae *inc. sed.*, Syngnathiformes, Scombriformes, Perciformes *i.e.S.*) und während der Amateurgrabung aus sechs Ordnungen (Clupeiformes, Percomorphaceae *inc. sed.*, Syngnathiformes, Scombriformes, Beloniformes, Perciformes *i.e.S.*) gefunden, die alle bereits aus den Sammlungen bekannt waren (Diagr. 65, Tab. 71/Anhang).

In der Sammlung des GEOW befinden sich lediglich fünf Exemplare von nicht näher bestimmbar Heringsartigen (Clupeidae indet.). In den übrigen Sammlungen sind Knochenfische (Teleostei) dagegen die häufigsten Funde, jedoch unterscheiden sie sich bezüglich der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Taxa (vgl. Diagr. 51 bis 55).

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

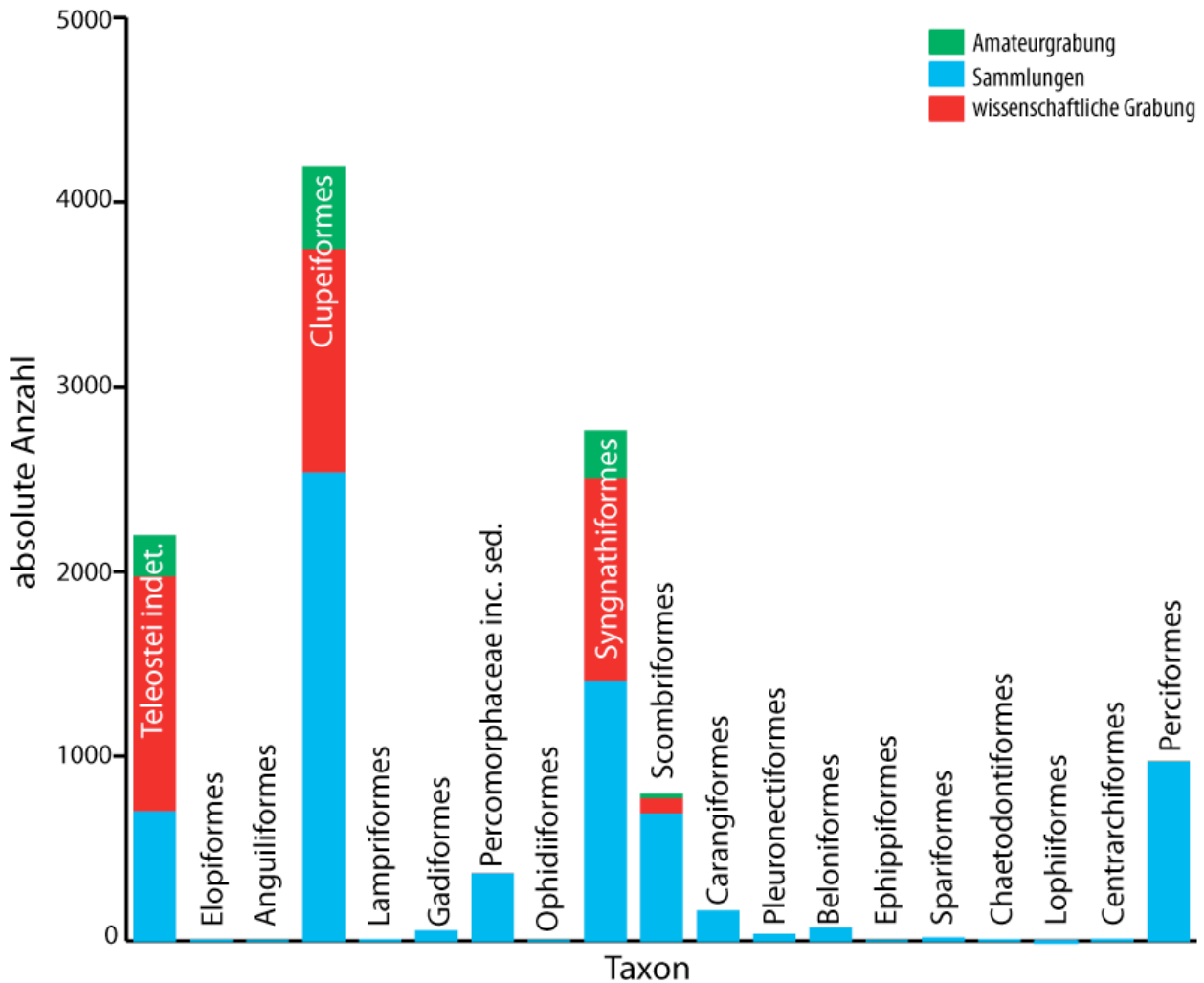


Diagramm 65: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen und Diversität der Knochenfisch-Taxa in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

6.2.5.2. Jungfische

Die Abundanz und Diversität der Jungfische ist ebenfalls in den Sammlungen am höchsten. Am häufigsten sind dort die Heringsartigen (Clupeiformes; Diagr. 66 a, Tab. 72/Anhang).

Die Amateurgrabung lieferte nur wenige Jungfische. Lediglich vier Exemplare von Heringsartigen (Clupeiformes) und fünf Exemplare von Seenadelartigen (Syngnathiformes) wurden registriert (Diagr. 66 b, Tab. 73/Anhang).

Die wissenschaftliche Grabung erbrachte Jungfische von Heringsartigen (Clupeiformes), Seenadelartigen (Syngnathiformes), Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) sowie Barschartigen (Perciformes). Den prozentual höchsten Anteil von Jungfischen hatten hierbei die Barschartigen (Perciformes) mit 50 %. Innerhalb der übrigen Taxa bilden die Jungfische einen Anteil von durchschnittlich 3,1 % (Diagr. 66 c, Tab. 74/Anhang).

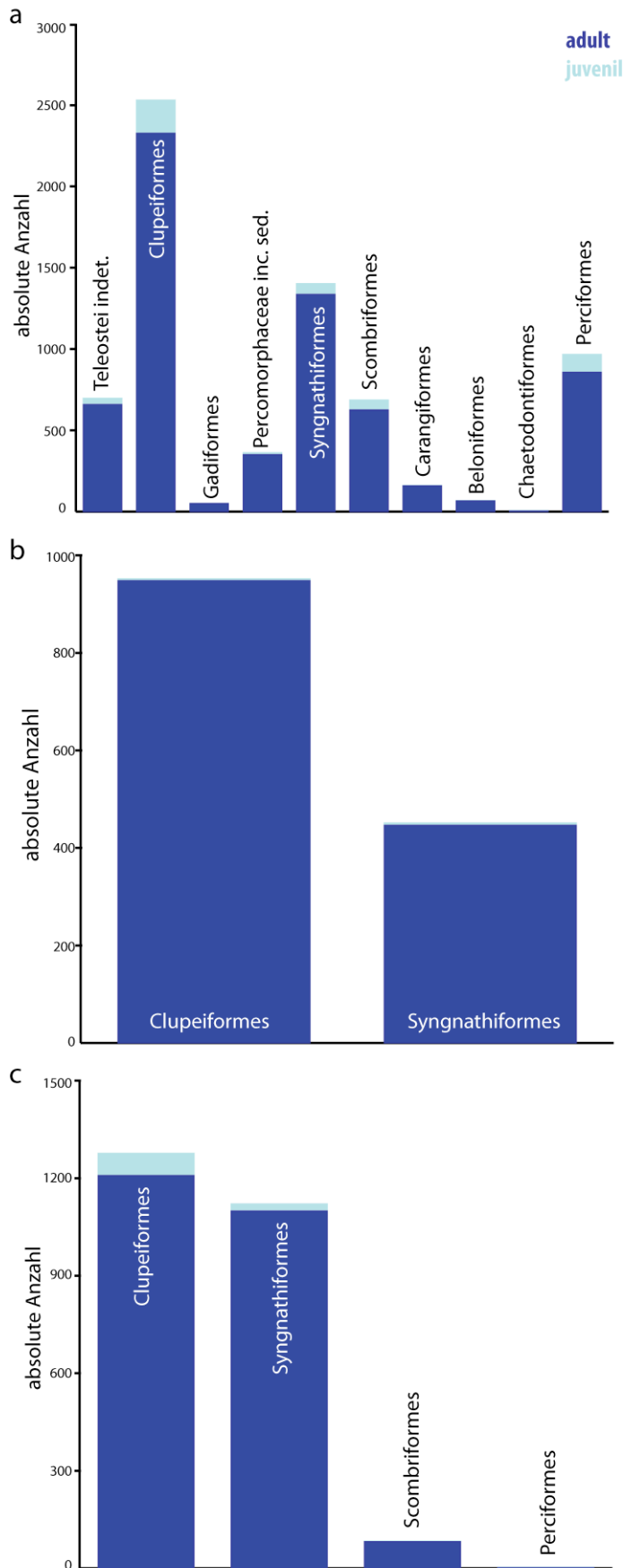


Diagramm 66: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilung und Diversität der Jungfische (Teleostei): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

6.2.5.3. Zerfallsstufen

Die Vergleichbarkeit der Erhaltungszustände der Knochenfische (Teleostei) zwischen Sammlungen und Projektgrabungen ist nur für die Taxa gegeben, die während der Projektgrabungen gefunden wurden. Die Ergebnisse über die Zerfallsstufen der übrigen Taxa stammen ausnahmslos aus den Sammlungen (vgl. Kap. 4.5.4.).

Heringsartige (Clupeiformes): Von 1.380 ausgewerteten Sammlungsexemplaren sind fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 am häufigsten. Mit 1.005 Exemplaren überwiegt hierbei die Zerfallsstufe 4 signifikant gegenüber der Zerfallsstufe 3 mit 249 Exemplaren. Die übrigen 126 Exemplare verteilen sich auf 21 Ganzkörper der Zerfallsstufe 1, 43 vollständige Körperteile der Zerfallsstufen 5 und 7 (Flossen, Schädel) und 62 fragmentierte Schuppen (Zerfallsstufe 10; Diagr. 67 a, Tab. 75/Anhang).

472 der 866 Herings-Funde aus der Amateurgrabung sind dagegen fragmentierte Rundschuppen (Zerfallsstufe 10). Die übrigen Funde verteilen sich auf zwei Ganzkörper der Zerfallsstufe 1, 323 fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 sowie 69 Körperteile der Zerfallsstufen 5, 7 und 8 (Diagr. 67 b, Tab. 76/Anhang).

Während der wissenschaftlichen Grabung waren Rundschuppen mit 11.047 von 12.195 Funden signifikant am häufigsten. Diese sind stets leicht bis stark fragmentiert und daher in die Zerfallsstufe 10 einzuordnen. Die übrigen Funde verteilen sich auf zwei Ganzkörper der Zerfallsstufe 2, 759 fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 sowie 476 Körperteile der Zerfallsstufen 5, 7 und 8. Letztere verteilen sich gleichmäßig auf Flossen, Schädel und Wirbelsäulen, die meistens disartikulierte vorlagen (Diagr. 67 c, Tab. 77/Anhang).

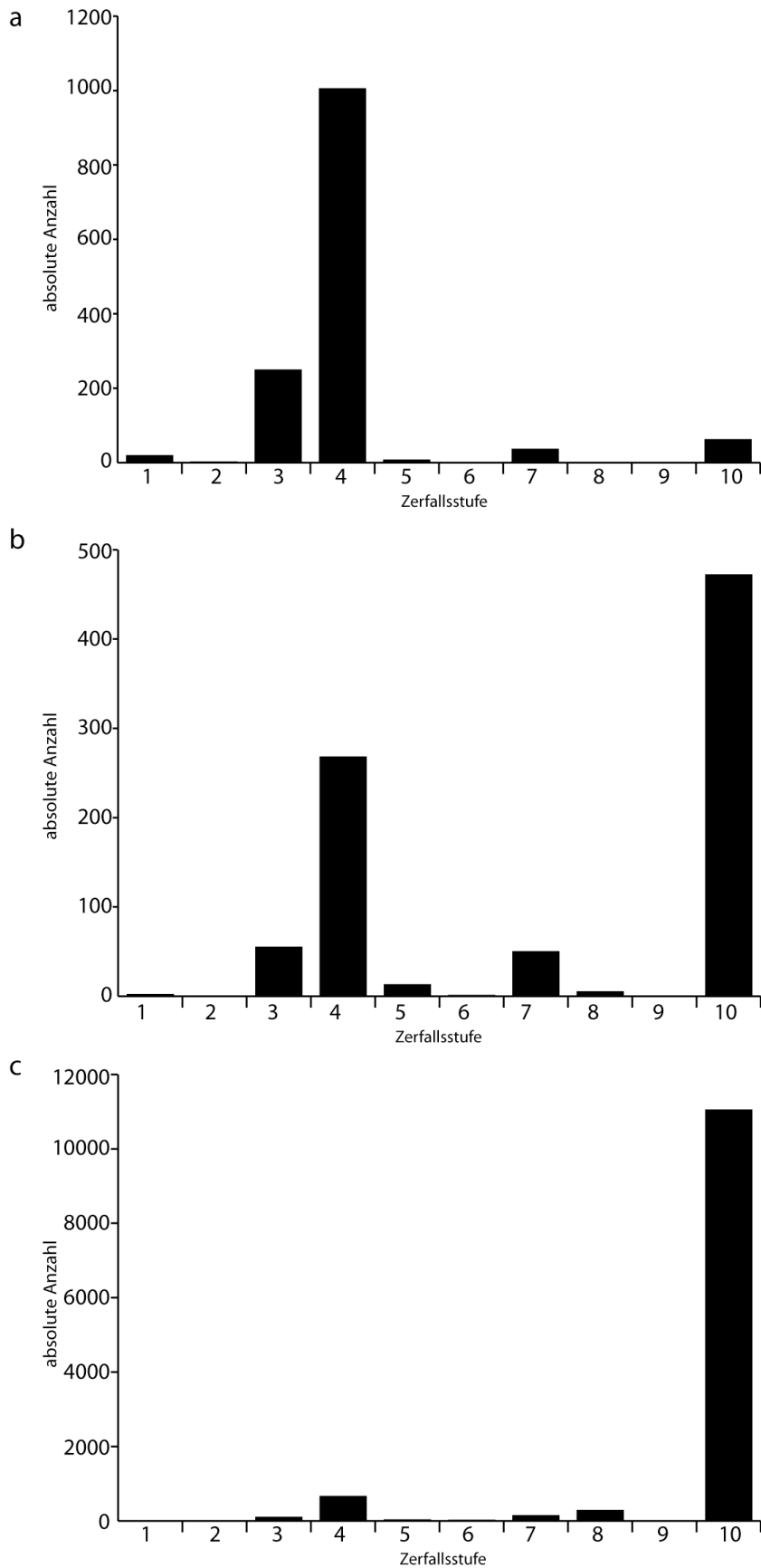


Diagramm 67: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei Heringsartigen (Clupeiformes): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Seenadelartige (*Syngnathiformes*): 1.147 taphonomisch ausgewertete Exemplare in den Sammlungen verteilen sich auf 243 Ganzkörper der Zerfallsstufen 1 und 2, 569 fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 sowie 335 Körperteile der Zerfallsstufen 6 bis 8. Die Zerfallsstufen 9 und 10 sind aus den Sammlungen nicht bekannt. Mehr als die Hälfte der Ganzkörper der Zerfallsstufen 1 und 2 sind artikuliert (184 Exemplare). Die meisten Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 sind dagegen disartikuliert (374 Exemplare). Von den 335 Körperteilen sind 257 Exemplare Verbünde aus Schädel und Knochenpanzer der Schnepfenmesserfischgattung *Aeoliscus* (Centriscidae; Diagr. 68 a, Tab. 80/Anhang).

220 Exemplare aus der Amateurgrabung verteilen sich auf zwei Ganzkörper der Zerfallsstufe 1, 96 fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4, 111 Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 und 11 Einzelelemente der Zerfallsstufe 10. Mit 72 Exemplaren sind fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 die häufigste geborgene Erhaltungsform. Daneben wurden Körperteile der Zerfallsstufen 6 und 7 mit insgesamt 102 Exemplaren am zweithäufigsten gefunden. Es handelt sich hierbei um 52 artikuliert sowie um 50 disartikuliert Schädel und Schädel-Knochenpanzer-Verbünde der Schnepfenmesserfischgattung *Aeoliscus* (Centriscidae; Diagr. 68 b, Tab. 81/Anhang). 869 Exemplare aus der wissenschaftlichen Grabung verteilen sich auf 15 Ganzkörper der Zerfallsstufe 1, 545 fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4, 180 Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 und 108 Einzelelemente der Zerfallsstufe 10.

Am signifikant häufigsten sind mit 522 Exemplaren fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufe 4. Die Körperteile verteilen sich auf Schädel und Schädel-Knochenpanzer-Verbünde. Der Großteil hiervon, nämlich 81 Exemplare, ist artikuliert, aber fragmentiert (Zerfallsstufe 6; Diagr. 68 c, Tab. 82/Anhang).

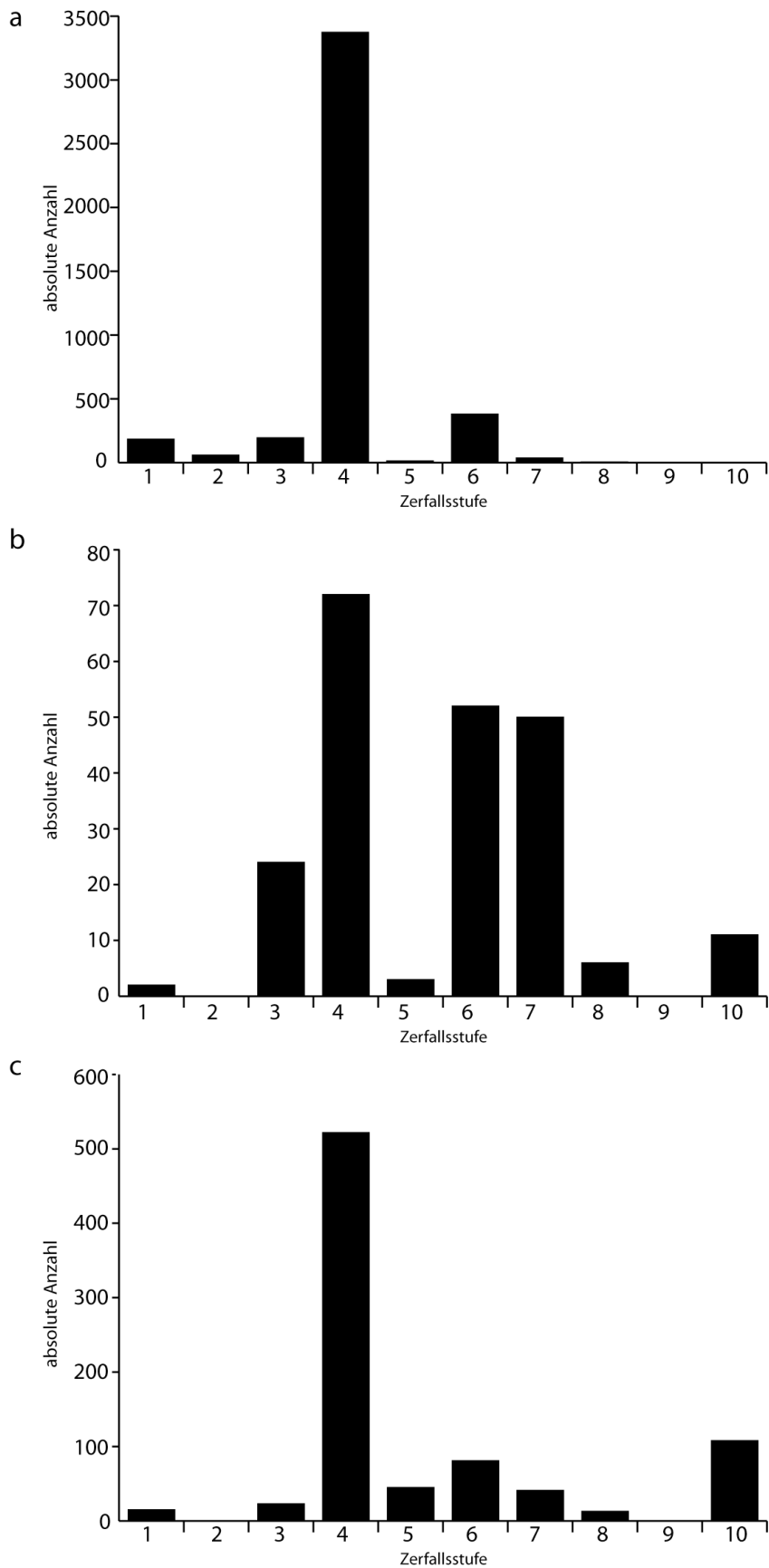


Diagramm 68: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei Seenadelartigen (Syngnathiformes): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Makrelen- und Thunfischartige (Scombriformes): 739 Exemplare in den musealen Sammlungen verteilen sich auf 17 Ganzkörper der Zerfallsstufe 1, 559 fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4, 87 Körperteile der Zerfallsstufen 5 bis 8 und 77 Zähne der Zerfallsstufe 10. 504 der 559 fragmentierten Ganzkörper sind disartikuliert (Zerfallsstufe 4). Bei den Körperteilen handelt es sich um Flossen und Schädel. Sämtliche Zähne sind im Bereich der Wurzel fragmentiert und daher der Zerfallsstufe 10 zuzuordnen (Diagr. 69 a, Tab. 83/Anhang).

Neun Exemplare aus der Amateurgrabung verteilen sich auf einen fragmentierten Ganzkörper der Zerfallsstufe 4, vier Flossen der Zerfallsstufe 6, eine Flosse der Zerfallsstufe 7 sowie eine Flosse und zwei Schädel der Zerfallsstufe 8 (Diagr. 69 b, Tab. 84/Anhang).

Die wissenschaftliche Grabung erbrachte zwölf fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufe 4, fünf Flossen der Zerfallsstufe 6, sechs Flossen der Zerfallsstufen 7 und 8 sowie zwei Schädel der Zerfallsstufe 8. Des Weiteren wurden drei fragmentierte Zähne der Zerfallsstufe 10 aufgefunden (Diagr. 69 c, Tab. 85/Anhang).

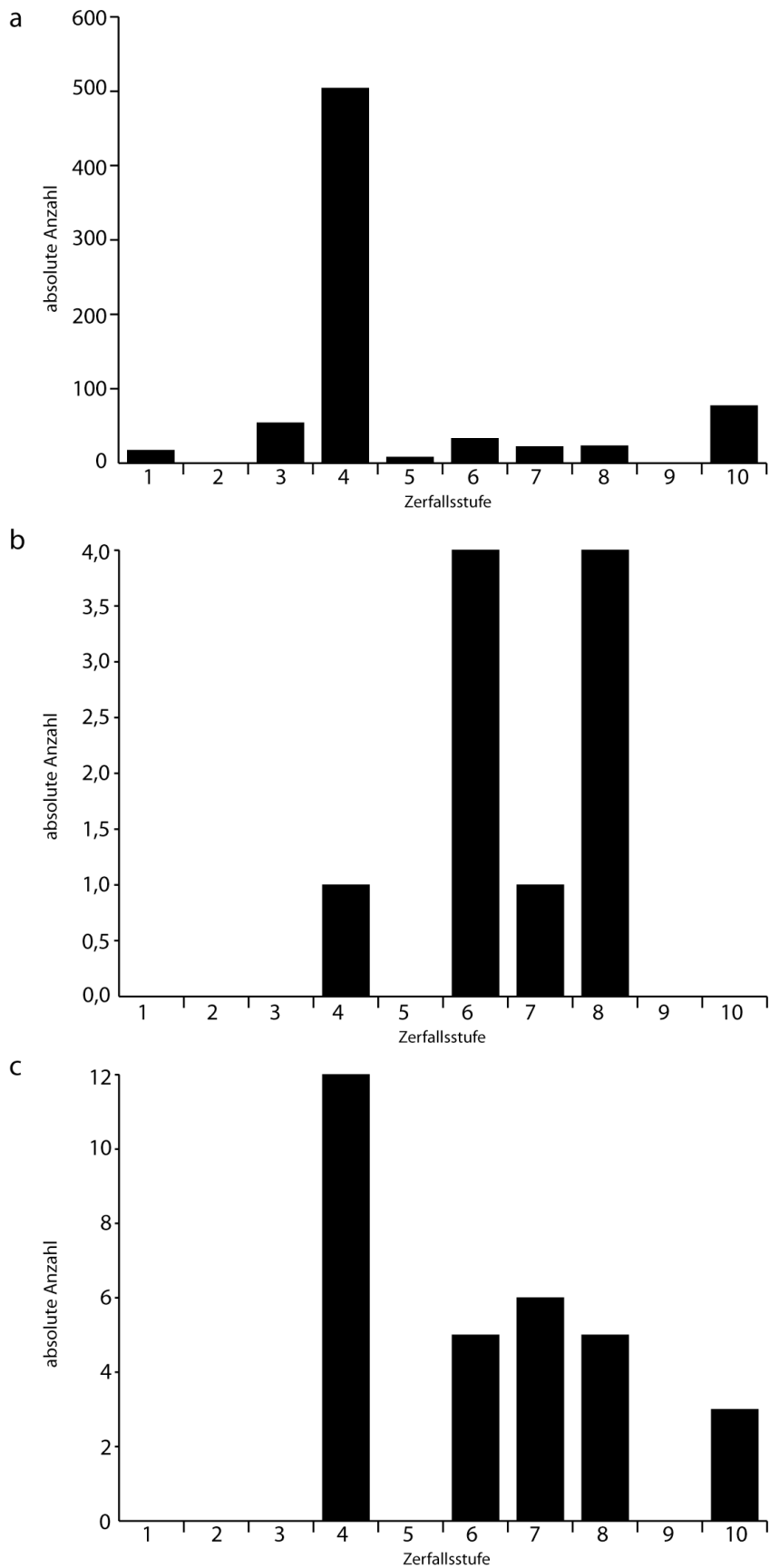


Diagramm 69: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Hornhechtartige (*Beloniformes*): Von den 81 taphonomisch untersuchten Exemplaren wurde eines während der Amateurgrabung geborgen. Es handelt sich um einen Schädel der Zerfallsstufe 8 (Tab. 87/Anhang). Die übrigen sind Sammlungsexemplare (Tab. 86/Anhang).

Barschartige (*Perciformes*): Zwei der 934 taphonomisch untersuchten Exemplare wurden während der wissenschaftlichen Grabung aufgefunden. Es handelt sich hierbei um zwei Ganzkörper der Zerfallsstufen 3 und 4 (Tab. 89/Anhang). Die übrigen stammen aus den Sammlungen (Tab. 88/Anhang).

6.2.5.4. Schlussfolgerung

Die relativen Häufigkeiten der Schnepfenfische (Centriscidae) und Heringe (Clupeidae) in den systematisch aufgebauten Museumssammlungen entsprechen annähernd jener, die auch am Ende der wissenschaftlichen Grabung ermittelt wurde (vgl. Diagr. 65). Hingegen kommen die übrigen Ordnungen in den Sammlungen deutlich häufiger vor als in den beiden Projektgrabungen. Dies ist mit Sicherheit dem Umstand zu verdanken, dass die Sammlungen über Jahrzehnte hinweg Objekte über Amateurpaläontologen akquiriert haben. Das Wissen über die hohe Diversität der Teleostei im Fischeisenerz ist daher größtenteils den Sammlungsarbeiten durch Amateure zu verdanken.

In den Fischeisenerz-Sammlungen des SMNK und SMNS überwiegen Heringe (Clupeidae indet.) und Schnepfenmessenfische (*Aeoliscus* sp.). Diese Objekte stammen vor allem aus Amateurgrabungen. In der Sammlung des HLMD dominieren Makrelen- und Thunfischartige (*Propercarina* sp.) und Barschartige (*Oliganodon* sp.), weil diese beiden Knochenfisch-Gruppen dort schwerpunktmäßig bearbeitet werden. In der SMF-Sammlung sind ebenfalls Makrelen- und Thunfische (*Propercarina* sp.) am häufigsten. Privatsammlungen und gezielte Ankäufe waren hier die Quellen (vgl. Diagr. 51 bis 55).

Die Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen der Fischtaxa, welche sowohl aus den Sammlungen als auch aus den beiden Projektgrabungen bekannt sind, unterscheiden sich maßgeblich (Diagr. 70). Besonders deutlich wird dies bei dem häufigsten Fischtaxon, den Herings (Clupeidae). Schuppen (Zerfallsstufe 10) sind mit einem Anteil von 81,1 % die häufigsten Überreste dieses Taxons in beiden Projektgrabungen. In den Sammlungen entsprechen Schuppen nur etwa 4,5 % der gesammelten Heringsfossilien. Dagegen stellen fragmentierte Ganzkörper der Zerfallsstufe 4 in den Sammlungen einen Anteil von 72,8 %. Diese wurden während der Grabungsarbeiten zwar durchweg in allen Schichten gefunden, ihr Anteil ist mit 6,2 % demgegenüber gering (vgl. Kap. 5.4.2.).

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die unterschiedlichen Ergebnisse zu den Erhaltungszuständen machen deutlich, dass die selektive Sammlertätigkeit der Amateure bei der Zusammenstellung für die Darstellung der Faunendiversität aus dem Fischeschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ eine wichtige Rolle spielte und dass vor allem gut und vollständig erhaltene Exemplare in die institutionellen Sammlungen aufgenommen wurden. Demgegenüber wurden die viel häufigeren Schuppen, Fischfragmente und disartikulierte Exemplare deutlich weniger gesammelt und gelangten kaum in die Sammlungen.

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

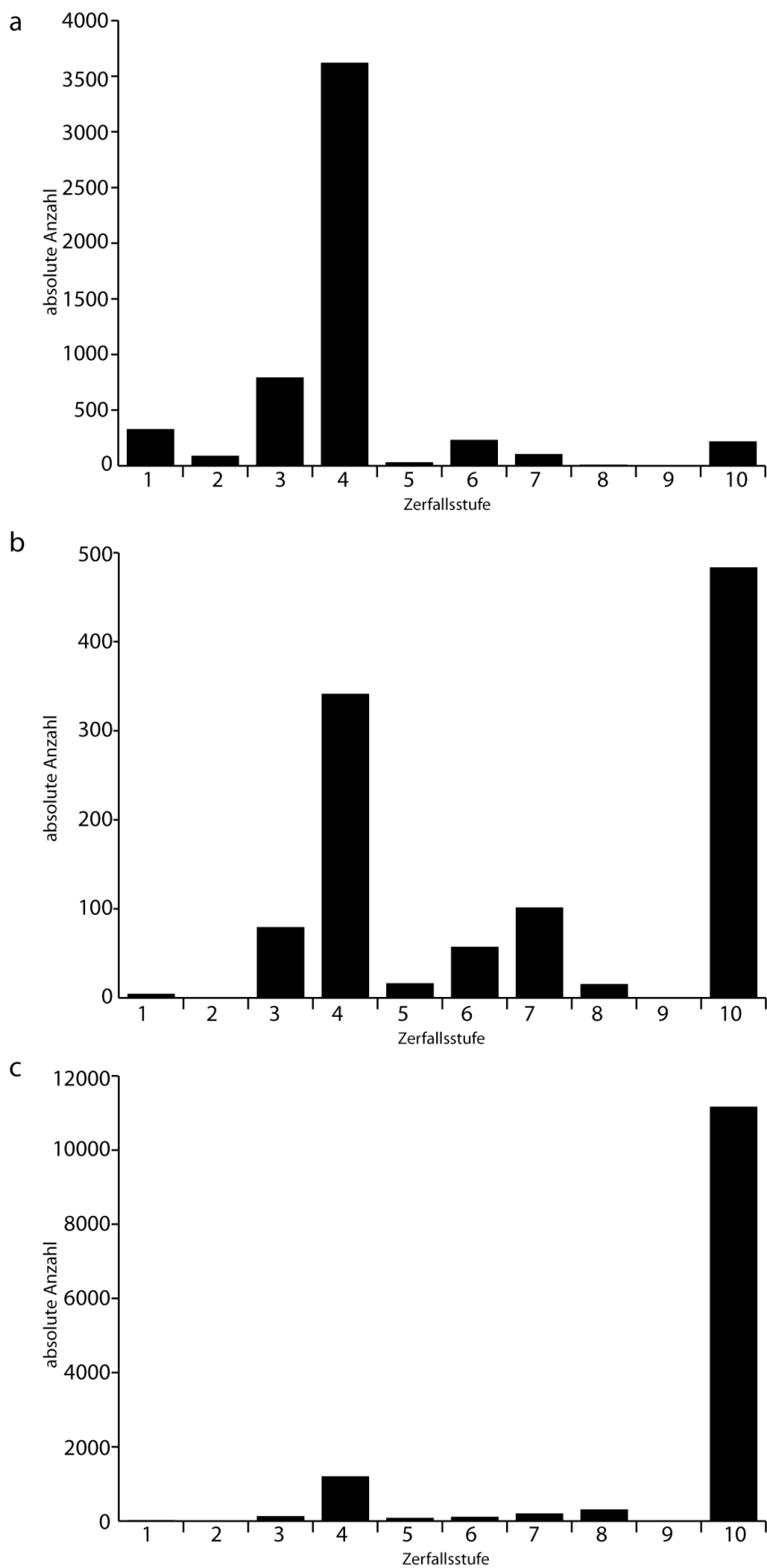


Diagramm 70: Vergleich der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Zerfallsstufen bei allen Knochenfischen (Teleostei): a. Sammlungen, b. Amateurgrabung, c. wissenschaftliche Grabung.

6.2.6. Landwirbeltiere (Tetrapoda)

Landwirbeltiere (Tetrapoda) sind - bis auf einen unbestimmbaren Knochenrest - nur aus den institutionellen Sammlungen bekannt (Tab. 90/Anhang). Sie sind also in den Sammlungen überrepräsentiert und die dort erzielte Häufigkeitsverteilung spiegelt nicht die tatsächliche Fundsituation wider.

6.3. Diskussion

Sammelleidenschaften von Amateurpaläontologen und institutionelle Forschungsschwerpunkte spielten eine entscheidende Rolle bei der Zusammensetzung des wissenschaftlichen Sammlungsbestandes aus dem Fischeschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“.

Wilhelm Wagner-Klett, der den Großteil der Sammlung des GEOW angelegt hat, sammelte vorrangig Wirbellose (Makroinvertebrata; WAGNER-KLETT 1919). Heinrich Eckert und Wilhelm Weiler legten bei ihrer Sammlungstätigkeit den Schwerpunkt auf Knochenfische (Teleostei), die in die Sammlung des SMNK gelangten (WEILER 1966). Die Privatsammler, die unter der Leitung von Dr. Norbert Micklich die Sammlung des HLMD aufbauten, sammelten in erster Linie Knochenfische (Teleostei; z. B. MICKLICH & PARIN 1996). Die Sammlung des SMNS, die größtenteils aus Ankäufen von Privatsammlungen besteht, ist durch gut erhaltene Pflanzen- und Fischfossilien gekennzeichnet (z. B. KOVAR-EDER 2016; vgl. Kap. 6.2.1.). Die Sammlung des SMF, die hauptsächlich von einem Privatsammler beliefert wurde, besteht ausschließlich aus ausgewählten Wirbeltieren (z. B. MAYR 2005; vgl. Diagr. 54).

Damit geht der Großteil der Objekte aus den ausgewerteten Sammlungen auf die Arbeit von Amateurpaläontologen zurück. Deren großräumige Abbaumethode, die in Zeiten des Tongrubenbetriebes durch geduldete Wochenendgrabungen möglich war, war auf eine möglichst hohe Anzahl von spektakulären und damit wertvollen Großfunden ausgerichtet. Dies erklärt die hohe Diversität in den Sammlungen. Da Pflanzen (Embryophyta) und Wirbellose (Makroinvertebrata) wenige spektakuläre Funde liefern, sind sie in den Sammlungen entsprechend unterrepräsentiert. Kleinmaterial geht in großräumigen Grabungen meist verloren, wird übersehen oder nicht gesammelt. Der Aufbau eines repräsentativen Sammlungsbestandes von einer Lokalität strebt zudem meist nach einer möglichst hohen Diversität. Deshalb wurden seltene Funde stets in den Sammlungen akkumuliert, während das Einlagern der häufigsten Exemplare aus Platzgründen begrenzt werden musste. Eine hohe Diversität ist nur durch das ausdauernde Engagement von Amateur- und Hobbypaläontologen erreichbar.

Obwohl die Amateurgrabung über zwei Jahre und die wissenschaftliche Grabung über drei Jahre

6. STATISTISCHE AUSWERTUNG

durchgeführt wurde, haben beide Grabungsmethoden eine weitaus geringere Diversität erbracht, als zu erwarten gewesen wäre. Dies ist wahrscheinlich auch auf den Umstand zurückzuführen, dass in der aktiven Zeit des Tonabbaus mehr fossilführende Schichten in der Tongrube Unterfeld und auch andere Tongruben in der Region aufgeschlossen und zugänglich waren (vgl. Kap. 1.2., 1.3.). Die wissenschaftliche Grabung verbesserte das Wissen über die vertikale Häufigkeitsverteilung der häufigsten Fossilien, da durch die kleinräumige Abbaumethode sämtliche heute aufgeschlossenen Schichten des Fischeschiefers in der Tongrube Unterfeld erreicht wurden (vgl. Kap. 5).

Im Zuge dieser Arbeit wurde deutlich, dass nur institutionelle Sammlungen nicht zur Rekonstruktion von paläoökologischen Verhältnissen einer Fundstelle herangezogen werden können. Zusätzlich sollte eine feinstratigraphische Referenzgrabung durchgeführt werden, welche die Befunde aus den Sammlungen ergänzt. Die Sammlungsbestände reflektieren zwar die Diversität, nicht aber die tatsächliche Häufigkeitsverteilung der Taxa.

7. Vergleich mit anderen unteroligozänen Fundstellen in Europa und Diskussion des Ablagerungsmodells für den Fischechiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“

7.1. Vergleich der Fischechiefer-Taphozönose mit derjenigen anderer unteroligozänen Fundstellen in Europa

Die Florenvergesellschaftung des Fischeiefers (Bodenheim-Formation) der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ zeigt Übereinstimmungen mit derjenigen von Flörsheim (Mainzer Becken, Hessen), Haselbach (Weißelsterbecken, Sachsen) und Kufstein (Tirol, Österreich). Die Fischfauna zeigt Ähnlichkeiten mit derjenigen von Froidefontaine (Frankreich), Rheinweiler (Baden-Württemberg), Alzey (Mainzer-Becken, Rheinland-Pfalz), Winterswijk (Gelderland, Niederlande), Boom (Flandern, Belgien) und einigen Fundstellen im Nord-Kaukasus (Abb. 36).

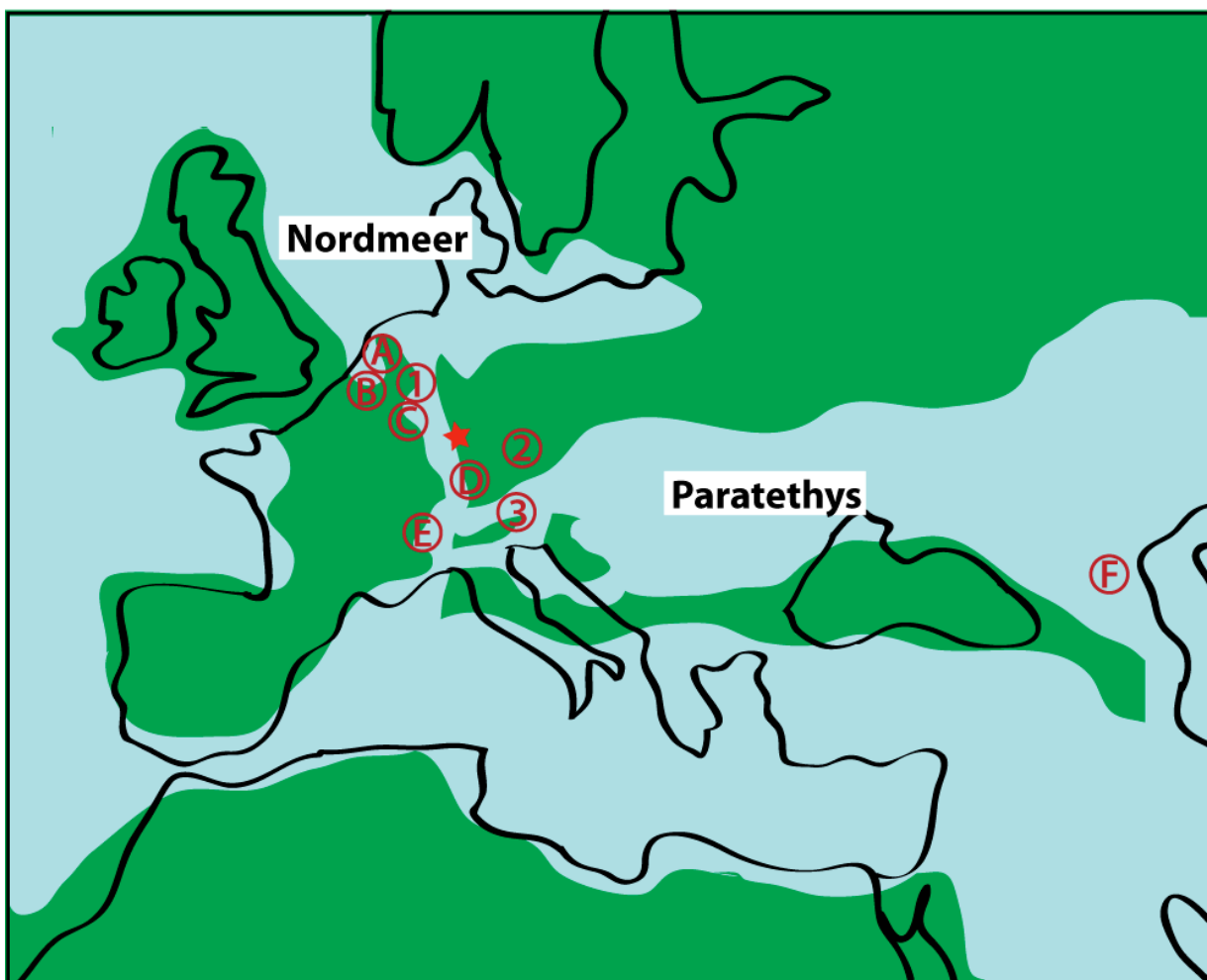


Abbildung 36: Übersicht über unteroligozänen Fundstellen in Europa, die eine ähnliche Floren- oder Faunenzusammensetzung wie der Fischechiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ haben: Flora: 1. Flörsheim, 2. Haselbach, 3. Kufstein; Fischfauna: A: Boom B: Winterswijk, C: Mainzer Becken, D: Rheinweiler, E: Froidefontaine, F. Nord-Kaukasus; roter Stern = Unterfeld.

7. VERGLEICH & DISKUSSION

7.1.1. Bodenheimer-Formation, Flörsheim (Mainzer Becken, Hessen)

Die Floren-Vergesellschaftung des Fischeisenschiefers hat mit derjenigen von Flörsheim im Mainzer Becken die meisten Übereinstimmungen (KVAČEK 2004, KOVAR-EDER 2016; vgl. Kap. 4.1.2., Tab. 5). Die dortigen Sedimente werden wie der Fischeisenschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ der Bodenheimer-Formation zugeordnet (KOVAR-EDER 2016). Der Palmfarn *Ceratozamia floersheimensis* (ENGELHARDT) KVAČEK (Cycadales), die Lorbeergewächse *Laurophyllum kinkelinii* (ENGELHARDT) KVAČEK, *L. pseudoprinceps* WEILAND & KLIPPER, *Laurus abchasica* KOLAKOVSKII & SHAKRYL sowie *Daphnogene cinnamomifolia* BRONGNIART (UNGER) (Lauraceae), das Platanengewächs *Platanus neptuni* (Ettingshausen) BŮŽEK, HOLÝ & KVAČEK (Platanaceae), das Kieferngewächs *Pinus* (Pinaceae), das Zypressengewächs *Tetraclinis* (Cupressaceae), die Palmengewächse *Palmacites* sowie *Phoenicites* (Arecaceae), das Weidengewächs *Populus* (Salicaceae), *Sloanea* (Elaeocarpaceae), das Walnussgewächs *Carya* (Juglandaceae), das Gagelstrauchgewächs *Myrica* (Myricaceae) und *Symplocos* (Symplocaceae) kommen in beiden Fundstellen vor (KVAČEK 2004).

Die Flörsheim-Flora wurde als Vegetation einer Küstenniederung rekonstruiert, welche von subtropischen Elementen wie dem Platanengewächs *Platanus* (Platanaceae) sowie von immergrünen Buchen- (Fagaceae) und Lorbeergewächsen (Lauraceae) dominiert wurde (KVAČEK 2004).

7.1.2. Böhlen-Formation, Haselbach (Weißelsterbecken, Sachsen)

Übereinstimmungen mit der Fischeisenschiefer-Flora gelten auch für einen Teil unteroligozänen Megaflora aus der Böhlen-Formation bei Haselbach im Weißelsterbecken (Sachsen, Tab. 5).

Aus beiden Fundstellen sind das Platanengewächs *Platanus neptuni* (ETTINGSHAUSEN) BŮŽEK, HOLÝ & KVAČEK (Platanaceae), das Walnussgewächs *Engelhardia orsbergensis* (WESSEL & WEBER) JÄHNICHEN, MAI & WALTHER (Juglandaceae), das Weidengewächs *Populus germanica* (MENZEL) WALTHER (Salicaceae) sowie der Adlerfarn *Lygodium* (Schizaeales), das Kieferngewächs *Pinus* (Pinaceae), die Zypressengewächse *Taxodium* und *Tetraclinis* (Cupressaceae), die Lorbeergewächse *Laurophyllum* sowie *Daphnogene* (Lauraceae), die Gagelstrauchgewächse *Myrica* und *Comptonia* (Myricaceae), das Zaubernussgewächs *Distylium* (Hamamelidaceae) und Palmengewächse (Arecaceae) bekannt (KUNZMANN & WALTHER 2012; vgl. Kap. 4.1.2.).

Die Taxa der Haselbach-Flora, welche auch im Fischeisenschiefer vorkommen, werden in zwei Assoziationen unterteilt: Die Sumpfwald-Assoziation mit dem Zypressengewächs *Taxodium* (Cupressaceae), dem Gagelstrauchgewächs *Myrica* (Myricaceae), Lorbeergewächsen (Lauraceae) und Palmengewächsen (Arecaceae; KUNZMANN & WALTHER 2012; vgl. Kap. 4.1.2.). Bei letzteren

handelt es sich in der Haselbach-Flora um die Gattung *Sabal*, während im Fischeschiefer die Gattungen *Palmacites* und *Sabalites* nachgewiesen wurden (vgl. Kap. 4.2.4.).

Die Mischwald-Assoziation der Haselbach-Flora besteht aus wechselfeuchten (mesophytischen) Taxa, wie dem Buchengewächs *Eotrigonobalanus* (Fagaceae), dem Platanengewächs *Platanus neptuni* (ETTINGSHAUSEN) BŮŽEK, HOLÝ & KVAČEK (Platanaceae), dem Zaubernussgewächs *Distylium* (Hamamelidaceae), den Lorbeergewächsen *Daphnogene* und *Laurophyllum* (Lauraceae) sowie dem Walnussgewächs *Engelhardia orsbergensis* (WESSEL & WEBER) JÄHNICHEN, MAI & WALTHER (Juglandaceae; KUNZMANN & WALTHER 2012).

Die Haselbach-Flora wurde als Vegetation einer Küstenebene interpretiert. Während einer Transgression wurden tidale Sande und Silte in ausgedehnten Überflutungsebenen mit Seen und mäandrierenden Flüssen abgelagert (KUNZMANN & WALTHER 2012).

7.1.3. Häring-Formation, Kufstein (Tirol, Österreich)

Die Flora der unteroligozänen Häring-Formation am Duxer Köpfl bei Kufstein in Österreich (Tirol) enthält ebenfalls aus dem Fischeschiefer bekannte Elemente, nämlich das Lorbeergewächs *Laurophyllum pseudoprinceps* WEILAND & KLIPPER (Lauraceae) sowie das Kieferngewächs *Pinus* (Pinaceae), das Zypressengewächs *Tetraclinis* (Cupressaceae), das Walnussgewächs *Engelhardia* (Juglandaceae), die Gagelstrauchgewächse *Myrica*, *Comptonia* (Myricaceae) und das Platanengewächs *Platanus* (Platanaceae; BUTZMANN et al. 2009; vgl. Kap. 4.1.2., Tab. 5). Das Platanengewächs *Platanus neptuni* (ETTINGSHAUSEN) BŮŽEK, HOLÝ & KVAČEK (Platanaceae) wird einem flussbegleitenden Auwald und die Lorbeergewächse *Laurophyllum pseudoprinceps* WEILAND & KLIPPER und *Daphnogene cinnamomifolia* BRONGNIART (UNGER) (Lauraceae) sowie das Gagelstrauchgewächs *Myrica longifolia* UNGER (Myricaceae) einem Laubmischwald mit Moorflächen zugeordnet (BUTZMANN et al. 2009). Das Walnussgewächs *Engelhardia orsbergensis* (WESSEL & WEBER) JÄHNICHEN, MAI & WALTHER (Juglandaceae) und das Kieferngewächs *Pinus* (Pinaceae) repräsentieren die Flora eines Laubmischwaldes bis zur submontanen Stufe (BUTZMANN et al. 2009). Das Gagelstrauchgewächs *Comptonia* (Myricaceae) und das Zypressengewächs *Tetraclinis* (Cupressaceae) wurden trockenen Standorten zugeschrieben (BUTZMANN et al. 2009).

7. VERGLEICH & DISKUSSION

Tabelle 5: Vergleich der Fischechiefer-Flora der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ mit anderen unteroligozänen Floren in Europa.

Fischechiefer-Taxon	Flörsheim	Haselbach	Kufstein
<i>Lygodium</i>		X	
<i>Ceratozamia floersheimensis</i>	X		
<i>Pinus</i>	X	X	X
<i>Taxodium</i>	X	X	
<i>Tetraclinis</i>	X		X
<i>Daphnogene cinnamomifolia</i>	X	X	
<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>		X	X
<i>Laurophyllum kinkelinii</i>	X		
<i>Laurus abchasica</i>	X		
<i>Palmacites lamanonis</i>	X		
<i>Phoenicites</i>	X		
<i>Platanus neptuni</i>	X	X	X
<i>Sloanea</i>	X		
<i>Engelhardia orsbergensis</i>		X	
<i>Carya</i>	X	X	
<i>Populus germanica</i>	X	X	
<i>Myrica</i>	X	X	X
<i>Comptomia</i>			X
<i>Distylium</i>		X	
<i>Comptonia</i>		X	X
<i>Symplocos</i>	X		

7.1.4. Schlussfolgerungen zur Floren-Vergesellschaftung des Fischechiefers

Der Vergleich der drei unteroligozänen Floren-Vergesellschaftungen von Flörsheim, Haselbach und Kufstein mit derjenigen aus dem Fischechiefer verfeinert die bisherigen Rekonstruktionen der östlichen Rupelmeerküste im Bereich der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ (Abb. 37; vgl. Kap. 4.1.4., 5.1.5.).

Die Flörsheim- und die Fischechiefer-Floren gehören zu dem sogenannten Nerchau-Flörsheim-Komplex (KVAČEK & WALTER 2001, KOVAR-EDER 2016, MAXWELL et al. 2016). Dieser zeichnet sich durch immergrüne Mischwälder aus, welche hauptsächlich aus den Lorbeergewächsen *Laurophyllum*, *Laurus* und *Daphnogene* (Lauraceae), dem Platanengewächs *Platanus* (Platanaceae), dem Gagelstrauchgewächs *Myrica* (Myricaceae), den Walnussgewächsen *Carya* und *Engelhardia* (Juglandaceae) und Buchengewächsen (Fagaceae) bestehen (KVAČEK & WALTER 2001). Diese Taxa zählen zu den sogenannten Wechselfeuchtpflanzen (Mesophyten), welche schwankende Wasserbedingungen tolerieren und hauptsächlich im humiden Klima vorkommen (LAWRENCE 1999). Diese Interpretation belegt, dass die terrestrische Flora des Fischechiefers diejenige einer subtropischen Küstenregion repräsentiert (vgl. Kap. 4.1.2., 5.4., 7.2.).

Die hier vorgestellten Vergleichsfundstellen enthalten keine marinen Sedimente, so dass entsprechende Pflanzenfossilien zum Vergleich mit der marinen Fischechiefer-Flora dort fehlen. Für die Fischechiefer-Flora wurde neben den terrestrischen Florenvergesellschaftungen auch eine marine Assoziation aus Seegrasgewächsen (Zosteraceae) und Algen (Phycophyta) nachgewiesen

(Abb. 37, vgl. Kap. 4.1.4., 5.1.5.).

Die Sumpfwald-Assoziation der Fischechiefer-Flora aus Zypressen- (Cupressaceae) und Palmengewächsen (Arecaceae) entspricht derjenigen der Haselbach-Flora (vgl. Kap. 4.1.2.). Dies festigt die Annahme aus Kap. 4.1.4. und 5.1.5, dass die Uferzone der östlichen Rupelmeerküste im Bereich der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ litorale Sumpfgebiete beinhaltete (KUNZMANN & WALTHER 2012, Abb. 37, vgl. Kap. 7.1.2., 4.1.4., 5.1.5.). Diese Überflutungszone stand episodisch unter marinem (vgl. Kap. 5.5., vgl. Abb. 41) und bei anderen Gegebenheiten unter Süßwassereinfluss. Da die dem Sumpfgebiet zugeordneten Pflanzentaxa aus dem Fischechiefer wahrscheinlich brack- aber nicht salzwassertolerant waren (vgl. Kap. 4.1.4.), muss ein Süßwassereinfluss im litoralen Sumpfgebiet angenommen werden. Allerdings belegt das Fehlen typischer Küstensedimente, dass Flussmündungen in deutlicher Entfernung vom Ablagerungsbereich gelegen haben müssen (vgl. Kap. 3.5.). Darüber hinaus könnten der Küste vorgelagerten Seegraswiesen den fluviatilen Sedimenteintrag abgefangen haben (Abb. 37). Seegraswiesen sind auch heute noch in den geschützten Bereichen von Flussmündungen, die sich durch hohe Sedimentationsraten auszeichnen, anzutreffen (MOHLENKAMP 2015).

Im Hinterland des Sumpfgebietes könnte sich ein immergrüner Laubmischwald wie in Flörsheim und Haselbach angeschlossen haben (Abb. 37). Dieser wurde von Lorbeergewächsen (Lauraceae), Platanengewächsen (Platanaceae) und Walnussgewächsen (Juglandaceae) dominiert (vgl. Kap. 4.1.2.). In Kufstein wird die Platane *Platanus* (Platanaceae) auch als Auwald-Element interpretiert (BUTZMANN et al. 2009). Das Hinterland der östlichen Rupelmeerküste im Bereich der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ war daher vermutlich durch Seen, Flüssen und angeschlossenen Auwäldern charakterisiert und ähnelte damit vermutlich den Bedingungen, die für die Haselbach- und Kufstein-Flora rekonstruiert wurden (BUTZMANN et al. 2009, KUNZMANN & WALTHER 2012; vgl. Kap. 7.1.2., 7.1.3.).

Weiter im Osten schloss sich die submontane Stufe des ORG an. Dort wuchsen zur Ablagerungszeit des Fischechiefers Kieferngewächse (*Pinus*, Pinaceae), Walnussgewächse (*Engelhardia*, Juglandaceae) und Gagelstrauchgewächse (*Myrica*, Myricaceae; BUTZMANN et al. 2009; vgl. Kap. 4.1.4., Abb. 37).

7. VERGLEICH & DISKUSSION

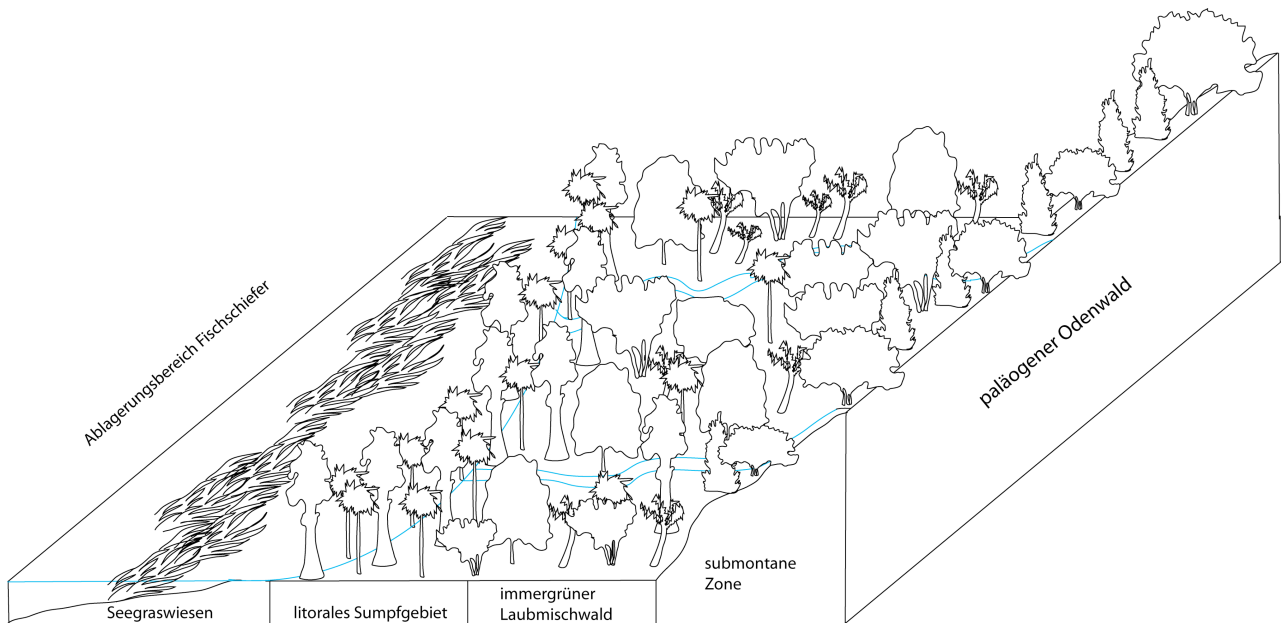


Abbildung 37: Botanische Zonierung der östlichen Rupelmeerküste im Bereich der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“: Seegraswiesen: Seegrasgewächse (*Zosteraceae* indet.); litorales Sumpfgebiet: brackewassertolerante Zypressengewächse (*Cupressaceae*) und Palmengewächse (*Arecaceae*); immergrüner Laubmischwald: Palmfarne (*Cycadales*), Lorbeergewächse (*Lauraceae*), Palmengewächse (*Arecaceae*), Platanengewächse (*Platanaceae*), Walnussgewächse (*Juglandaceae*), Weidengewächse (*Salicaceae*), Buchengewächse (*Fagaceae*), Gagelstrauchgewächse (*Myricaceae*); submontane Zone: Kieferngewächse (*Pinaceae*), Walnussgewächse (*Juglandaceae*), Gagelstrauchgewächse (*Myricaceae*).

7.1.5. Froidefontaine-Formation, Froidefontaine (Bourgogne-Franche-Comté, Frankreich)

Die Fischfauna des Fischeschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ zeigt umfangreiche Übereinstimmungen mit den Vergesellschaftungen der Froidefontaine-Formation aus der ca. 300 km südwestlich von der Tongrube Unterfeld gelegenen Lokalität bei Froidefontaine in Frankreich (vgl. Abb. 36). In beiden Fundstellen wurden die Sandhaie *Carcharias cuspidata* AGASSIZ 1843 sowie *C. acutissima* AGASSIZ 1843 (*Odontaspidae*), der Riesenhai *Keasius parvus* LERICHE 1910 (*Cetorhinidae*), der Grundhai *Physogaleus latus* STORMS 1894 (*Carcharhiniformes* inc. sed.) und Adlerrochen (*Myliobatidae*) nachgewiesen (PHARISAT & MICKLICH 1998; vgl. Kap. 4.4.2.). Die Knochenfisch-Vergesellschaftung von Froidefontaine enthält Heringe (*Clupeidae*), den Dorsch *Palaeogadus* (*Gadidae*), *Palaeorhynchus* cf. *P. glarisianus* BLAINVILLE 1818 (*Palaeorhynchidae*), den Trompetenfisch *Aulostomus medius* WEILER 1920 (*Aulostomidae*), die Schnepfenmesserfische *Aeoliscus heinrichi* HECKEL 1850 und *A. distinctus* MICKLICH & PARIN 1996 (*Centriscidae*), die Seenadeln *Syngnathus* cf. *S. incompletus* COSMOVICI 1886 und *Microphis* (*Syngnathidae*), den Haarschwanz *Lepidopus* (*Trichiuridae*), die Makrelen *Scomberomorus* und *Sarda brachycephala* LERICHE 1908 (*Scombridae*), den Barrakuda cf. *Sphyrnaenodus* (*Sphyrnaenidae*), die Stachelmakrele *Archaeus glarisianus* AGASSIZ 1834 (*Carangidae*), den Halbschnäbler

Hemiramphus (Hemiramphidae), die Meerbrasse *Sparus* cf. *S. schoppii* WITTICH 1900 (Sparidae) und den Sägebarsch *Oliganodon budensis* HECKEL 1856 (Serranidae; PHARISAT & MICKLICH 1998; Tab. 6, vgl. Kap. 4.5.2.).

Die Ablagerungen der Froidefontaine-Formation werden als diejenigen einer Bucht („Golf von Montbeliard“) rekonstruiert, welche eine Verbindung zum offenen Meer hatte (PHARISAT 1998, PHARISAT & MICKLICH 1998). Die vielen juvenilen Fische, wie z. B. diejenigen des Haarschwanzes *Lepidopus* (Trichiuridae), sprechen für die ehemalige Existenz von Laichgründen (PHARISAT 1998, PHARISAT & MICKLICH 1998). Mit Ausnahme des Riesenhaies *Keasius* (Cetorhinidae) wird die Fischfauna von Froidefontaine durch südliche Faunenelemente der Paratethys, wie z. B. durch Seenadelartige (Syngnathiformes), dominiert (PHARISAT 1998, PHARISAT & MICKLICH 1998, vgl. Kap. 7.1.6.). Insgesamt überwiegen neritische und litorale Fischfaunen (PHARISAT & MICKLICH 1998).

7.1.6. Bodenheim-Formation, Rheinweiler (Baden-Württemberg)

Die Lokalität Rheinweiler in der Oberrheinischen Tiefebene (Markgräflerland), 80 km östlich von Froidefontaine, umfasst drei Meter mächtige Tonsteinablagerungen, die ebenfalls der Bodenheim-Formation zugeordnet werden (Tab. 6, vgl. Kap. 1.2., 7.1.4.). Es wurden auch hier zahlreiche Fossilien des Riesenhaies *Keasius parvus* LERICHE 1908 (Cetorhinidae) und des Schnepfenmesserfisches *Aeoliscus heinrichi* HECKEL 1850 (Centriscidae) nachgewiesen (Abb. 38, vgl. Kap. 4.4.2., 4.5.2.).

Die Ablagerungen der Bodenheim-Formation bei Rheinweiler umfassen schieferartige, schwarze Mergel, die in 100 bis 300 m Wassertiefe abgelagert wurden (DE PIETRI et al. 2009). Die Ablagerungszeit war durch hyp- bis anoxischen Events charakterisiert und zumindest zeitweise soll eine Verbindung zur Paratethys im Süden bestanden haben. Letzteres wird mit dem Auftreten von Schnepfenfischen (Centriscidae) in den Ablagerungen begründet (DE PIETRI et al. 2009; vgl. Abb. 36, vgl. Kap. 7.1.4.).

7.1.7. Pshekha-Formation (Nord-Kaukasus)

Die Aufschlüsse der Pshekha-Formation im Nord-Kaukasus verteilen sich auf drei Länder. Die wichtigsten, hier verglichenen Lokalitäten sind Abadzekhskaya (Russland), Sukhumi (Abchasien, Georgien) und auf der Apsheron-Halbinsel bei Baku (Aserbaidshan; BANNIKOV & PARIN 1996; vgl. Abb. 36). Aus den Sedimenten dieser Fundstellen wurden bisher insgesamt 45 Familien und 66 Taxa von Knochenfischen (Teleostei) nachgewiesen. Darunter sind die folgenden, auch aus dem

7. VERGLEICH & DISKUSSION

Fischschiefer bekannten Taxa: der Dorsch *Palaeogadus* cf. *P. intergerinus* DANILTSCHENKO 1947 (Gadidae), *Palaeorhynchus* (Palaeorhynchidae), der Eberfisch *Proantigonia* (Caproidae), der Großaugenbarsch *Priacanthus* (Priacanthidae), der Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus heinrichi* HECKEL 1850 (Centriscidae), *Oligosphenopsis* cf. *O. gracilis* PARIN 1992 (Urosphenidae), der Haarschwanz *Lepidopus* (Trichiuridae), der Medusenfisch *Pinichthyes pulcher* BANNIKOV 1985 (Stromateidae), die Stachelmakrele *Archaeus glarisianus* AGASSIZ 1834 (Carangidae), der Halbschnäbler *Hemiramphus* (Hemiramphidae) und der Ponyfisch *Leiognathoides* (Leiognathidae, BANNIKOV & PARIN 1996; Tab. 6, vgl. Kap. 4.5.2.). Es wurden auch Aalartige (Anguiliformes) und Eingeweidefischartige (Ophidiiformes) gefunden (BANNIKOV & PARIN 1996; vgl. Kap. 4.5.2.).

Wie im Fischschiefer dominieren in diesen Ablagerungen der ehemaligen Paratethys Heringsartige (Clupeiformes), wie z. B. die Gattung *Sardinella* (BANNIKOV & PARIN 1996; vgl. Abb. 36). Daneben sind auch Dorsche (Gadidae), Makrelen und Thunfische (Scombridae) sowie Haarschwänze (Trichiuridae) besonders häufig (BANNIKOV & PARIN 1996). Insgesamt überwiegen epi- und mesopelagische Taxa (BANNIKOV & PARIN 1996).

7.1.8. Alzey-Formation, Alzey (Mainzer Becken, Rheinland-Pfalz)

In denen zum Fischschiefer zeitgleich abgelagerten Sanden der Alzey-Formation im Mainzer Becken wurden unter anderem 27 Knorpelfischarten (Chondrichthyes) und 100 Knochenfischarten (Teleostei) aufgefunden (SCHINDLER et al. 2009).

Innerhalb der Knorpelfische (Chondrichthyes) wurden in den Sedimenten der Alzey-Formation die folgenden Taxa nachgewiesen, welche auch aus dem Fischschiefer bekannt sind: die Sandhaie *Carcharias acutissima* AGASSIZ 1843 sowie *C. cuspidata* AGASSIZ 1843 (Odontaspidae), der Grundhai *Physogaleus latus* STORMS 1894 (Carcharhiniformes inc. sed.), der Siebenkiemerhai *Notorhynchus primigenius* AGASSIZ 1844 (Hexanchidae) und Adlerrochen (Myliobatidae; SCHINDLER et al. 2009; vgl. Kap. 4.2.2., 4.3.2.).

Knochenfische (Teleostei) sind in den Sanden der Alzey-Formation hauptsächlich durch Otolithe belegt. Knochen-, Schuppen- oder Zahnfunde treten nur untergeordnet auf (SCHINDLER et al. 2009). Es wurden unter anderem Heringe (Clupeidae), Dorsche (Gadidae), Großaugenbarsche (Priacanthidae), Eingeweidefischartige (Ophidiiformes), Makrelen und Thunfische (Scombridae), Plattfischartige (Pleuronectiformes), Hornhechtartige (Beloniformes), Meerbrassen (Sparidae) und Perciformes (Barschartige) nachgewiesen (SCHINDLER et al. 2009). Diese Taxa sind auch aus dem Fischschiefer bekannt (vgl. Kap. 4.5.2.).

Die Ablagerungen von Sanden und Kiesen sowie die Fossilienvergesellschaftung der Alzey-

Formation führte zu der Rekonstruktion eines küstennahen, morphologisch gegliederten Lebensraumes mit felsigen Küsten, Blockstränden und vorgelagerten Sandgründen (SCHINDLER et al. 2009).

7.1.9. Boom-Formation, Boom (Flandern, Belgien)

Etwa 500 km nordwestlich von der Tongrube Unterfeld liegt die Typuslokalität für den Rupelton bei Boom in Belgien (Boom-Formation, vgl. Kap. 1.1.2.).

Am häufigsten sind in diesen Ablagerungen die Funde von Knorpelfischen (Chondrichthyes), wie z. B. von Seekatzen (Chimaeridae), vom Riesenhai *Keasius parvus* LERICHE 1908 (Cetorhinidae), vom Makrelenhai *Isurolamna* (Lamnidae), vom Grundhai *Physogaleus latus* STORMS 1894 (Carcharhiniformes inc. sed.) und von Adlerrochen (Myliobatiformes; Tab. 6, vgl. Kap. 4.4.3.). Hierbei sind, wie auch im Fischschiefer der Tongrube Unterfeld, die Kiemenreusendornen der Riesenhaie (Cetorhinidae) besonders häufige Knorpelfischreste (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 1994; vgl. Kap. 4.4.3.). In den Sedimenten der Boom-Formation ist nur noch der Dornhai *Squalus alsaticus* ANDREAE 1892 (Squalidae) häufiger, der in der vorliegenden Arbeit für den Fischschiefer nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden konnte und sehr selten ist (HOVESTADT & HOVESTADT-EULER 1994; vgl. Kap. 4.4.1.). Daneben ist aus der Boom-Formation auch eine Stachelmakrelenart (Carangidae) bekannt (TAVERNE et al. 2006; vgl. Kap. 4.5.2.).

Während die untersten Schichten der Boom-Formation auf einem Schelf in etwa 100 m Wassertiefe abgelagert wurden, deutet sich zum Top der Abfolge hin ein graduelles Verflachen an, wodurch der Ablagerungsbereich isoliert und schlechter durchlüftet wurde (VAN SIMAEYS & VANDENBERGHE 2006).

7.1.10. Brinkheurne-Formation, Winterswijk (Gelderland, Niederlande)

250 km nordöstlich von Boom sind bei Winterswijk (Niederlande) die Ablagerungen der Brinkheurne-Formation aufgeschlossen. Die Sedimente sind insbesondere für die Funde von Otolithen verschiedener Knochenfischtaxa bekannt, darunter diejenigen von Tarpunartigen (Elopiformes), Aalartigen (Anguilliformes), Heringsartigen (Clupeiformes), dem Dorsch *Palaeogadus* (Gadiformes) und von Barschartigen (Perciformes; GAEMERS 1976, GAEMERS & VAN HINSBERGH 1978; Tab. 6). Otolithe wurden im Fischschiefer der Tongrube Unterfeld bisher noch nicht untersucht, aber diese Taxa sind anhand von Ganzkörperfossilien belegt (vgl. Kap. 4.5.2.). Es wurden in der Brinkheurne-Formation auch die Kiemenreusendornen des Riesenhais *Keasius* (Cetorhinidae) nachgewiesen (VAN DEN BOSCH 1984a; vgl. Kap. 4.4.2.).

7. VERGLEICH & DISKUSSION

Die Sedimente der Brinkheurne-Formation werden chronostratigraphisch mit denjenigen der Boom-Formation gleichgesetzt (VAN DEN BOSCH 1984b; vgl. Kap. 7.1.7.). Die bis zu 50 m mächtigen Ablagerungen der Brinkheurne-Formation werden in zwei Einheiten unterteilt: an der Basis lagern die blau-grünen Tone des Kotten-Members und am Top die dunklen, schwarzen Tone des Woold-Members (VAN DEN BOSCH 1984b). Die Ablagerungen sind durchgehend laminiert und kaum bioturbirt (VAN DEN BOSCH 1984b). Es wird von einem ruhigen Ablagerungsmilieu mit geringen Sedimentationsraten ausgegangen (VAN DEN BOSCH 1984b). Im Laufe der Zeit änderten sich die Ablagerungsbedingungen und das Kotten-Member wird einer regressiven Phase zugeordnet. Die Sedimente des Woold-Members wurden während einer Transgression abgelagert (VAN DEN BOSCH 1984b).

Tabelle 6: Vergleich der Fisch-Vergesellschaftung des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ mit denjenigen von anderen unteroligozänen Aufschlüssen in Europa.

Fischschiefer-Taxon	Froide- fontaine	Rhein- weiler	Nord- Kaukasus	Mainzer Becken	Boom	Winters- wijk
Chimaeridae					x	
<i>Carcharias cuspidata</i>	x			x		
<i>Carcharias acutissima</i>	x			x		
<i>Keasius parvus</i>	x	x			x	x
<i>Isurulamna</i>					x	x
<i>Physogaleus latus</i>	x			x	x	x
<i>Notorhynchus primigenius</i>				x		
Myliobatidae	x			x	x	x
Anguiliformes						x
Clupeidae	x		x	x		
Gadidae				x		
<i>Palaeogadus</i>	x					
<i>Palaeogadus</i> cf. <i>P. intergerinus</i>			x			
<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	x		x			
<i>Capros</i>	x					
<i>Proantigonia</i>			x			
Priacanthidae				x		
<i>Priacanthus spinosus</i>	x		x			
Ophidiiformes				x		
<i>Aulostomus medius</i>	x					
<i>Aeoliscus heinrichi</i>	x	x	x			
<i>Aeoliscus distinctus</i>	x					
<i>Syngnathus</i> cf. <i>S. incompletus</i>	x					
<i>Doryrhamphus</i>	x					
<i>Microphis</i>	x					
<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>O. gracilis</i>			x			
Gempylidae indet.	x					
<i>Lepidopus</i>	x		x			
Scombridae				x		
<i>Scomberomorus lingulatus</i>	x					
<i>Sarda brachycephala</i>	x					
cf. <i>Sphyraenodus</i>	x					
<i>Pinichthyes pulcher</i>			x			

Pleuronectiformes			x	
Carangidae				x
<i>Archaeus glarisianus</i>	x		x	
Beloniformes			x	
<i>Hemiramphus</i>	x		x	
Sparidae			x	
<i>Sparus cf. S. schoppii</i>	x			
<i>Leiognathoides</i>			x	
Perciformes			x	
<i>Oliganodon budensis</i>	x			

7.1.11. Schlussfolgerungen zur Fisch-Vergesellschaftung des Fischeschiefers

Der Vergleich der Fischfauna des Fischeschiefers mit drei im Süden (Froidefontaine, Rheinweiler, Nord-Kaukasus) und drei im Norden gelegenen Fundstellen (Mainzer Becken, Boom, Winterswijk) führt zu einer biogeographischen Zweiteilung der Vergesellschaftung und Zuordnung zu einer südlichen und einer nördlichen Provinz.

Zur nördlichen Faunenvergesellschaftung des Fischeschiefers zählen Kurznasenseekatzen (Chimaeridae), der Makrelenhai *Isurolamna* (Lamnidae), der Siebenkiemerhai *Notorhynchus* (Hexanchidae), Tarpunartige (Elopiformes), Aalartige (Anguiliiformes), Plattfischartige (Pleuronectiformes) und Eingeweidefischartige (Ophidiiformes). Diese Taxa wurden z.T. auch im Mainzer Becken, in Boom und in Winterswijk nachgewiesen, aber nicht in den südlichen Vergleichsfundstellen (vgl. Tab. 6, Abb. 38).

Zwei der rezenten Vergleichstaxa sind auch heute noch typische Bewohner nördlicher Meere: Der rezente Makrelenhai *Lamna nasus* BONNATERRE 1788 (Lamnidae) ist in den gemäßigten bis subarktischen Gewässern des Nordatlantiks und in der Nord- und Ostsee weit verbreitet, während der Frauenfisch *Elops saurus* LINNAEUS 1766 (Elopiformes) im westlichen Nordatlantik lebt (WESTHEIDE & RIEGER 2009, MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 34/Anhang). Der Lebensraum dieser Vergleichstaxa passt nicht zu dem hier rekonstruierten Ablagerungsbereich einer subtropischen Flachwasserbucht (vgl. Kap. 4.7., 5.5.). Daran dürfte es auch liegen, dass die Reste dieser Faunenelemente im Fischeschiefer sehr selten sind (vgl. Kap. 4.4.2., 4.5.2.).

Der Goldbutt *Pleuronectes platessa* LINNAEUS 1758 (Pleuronectiformes) besiedelt heute sämtliche Küstengebiete Europas und ist daher nicht nur im Nordatlantik, Nord- und Ostsee, sondern auch im Mittelmeer heimisch (COOPER & CHAPLEAU 1998, MAXWELL et al. 2016, vgl. Tab. 34/Anhang). Da der Ablagerungsraum des Fischeschiefers wahrscheinlich keinen geeigneten Lebensraum für Plattfischartige (Pleuronectiformes) darstellte, sind auch diese Funde selten (vgl. Kap. 3.5., 4.5.2.). Die übrigen Taxa der nördlichen Fischfauna aus dem Fischeschiefer sind heute eher typisch für südliche subtropische bis tropische Meere: Rezente Kurznasenseekatzen (Chimaeridae) sind in den tropischen Breiten des Atlantiks, Pazifiks und des Indischen Ozeans zu finden (WESTHEIDE &

7. VERGLEICH & DISKUSSION

RIEGER 2009). Der Breitnasen-Siebenkiemerhai *Notorhynchus cepedianus* PÉRON 1807 (Hexanchidae) lebt weltweit in Küstengebieten tropischer Meere. Im Nordatlantik oder Mittelmeer fehlt er dagegen (COMPAGNO 1984a, MAXWELL et al. 2016). Auch die meisten Aalartigen (Anguiliformes) und das Bartmännchen *Brotula barbata* BLOCH & SCHNEIDER 1801 (Ophidiidae) sind in fast allen subtropischen und tropischen Meeren zu finden (WESTHEIDE & RIEGER 2009, NIELSEN et al. 1999).

Diese Taxa sind womöglich aus dem Süden in das Rupelmeer eingewandert (vgl. Abb. 36). Vielleicht stammen diese Taxa aber auch ursprünglich aus dem oligozänen Nordmeer und sind erst aufgrund der globalen Abkühlung gegen Ende des Oligozäns in den Süden abgewandert. Beide Szenarien würden eine Verbindung zwischen Nordmeer, Rupelmeer und Paratethys voraussetzen. Diese Verbindung wird aber kontrovers diskutiert (vgl. Kap. 1.1.3.6.) und im weiteren Verlauf dieses Kapitels behandelt. Sie ist insofern wahrscheinlich, als dass die Anzahl von südlichen Faunenelementen im Fischeschiefer diejenige der nördlichen signifikant übertrifft. Zu diesen südlichen (paratethyalen) Faunenelementen zählen der Dorsch *Palaeogadus* cf. *P. intergerinus* DANILTSCHENKO 1947 (Gadidae), *Palaeorhynchus* cf. *P. glarisianus* BLAINVILLE 1818 (Palaeorhynchidae), die Eberfisch *Capros* und *Proantigonia* (Caproidae), der Großaugenbarsch *Priacanthus spinosus* BLAINVILLE 1818 (Priacanthidae), der Trompetenfisch *Aulostomus medius* WEILER 1920 (Aulostomidae), der Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus distinctus* MICKLICH & PARIN 1996, die Seenadeln *Syngnathus incompletus* COSMOVICI 1886, *Doryrhamphus* und *Microphis* (Syngnathidae), *Oligoephephopsis* (Urosphenidae), der Haarschwanz *Lepidopus* (Trichuridae), die Makrelen und Thunfische *Scomberomorus lingulatus* VON MEYER 1856, *Sarda brachycephala* LERICHE 1908 und cf. *Sphyrænodus* (Scombridae), der Medusenfisch *Pinichthys pulcher* BANNIKOV 1993 (Stromateidae), die Stachelmakrele *Archæus glarisianus* AGASSIZ 1834 (Carangidae), der Halbschnäbler *Hemiramphus* (Hemiramphidae), die Meerbrasse *Sparus* cf. *S. schopii* WITTICH 1900 (Sparidae), der Ponyfisch *Leiognathoides* (Leiognathidae) sowie der Sägebarsch *Oliganodon budensis* HECKEL 1856 (Serranidae; vgl. Kap. 4.5.2.). Diese Taxa wurden z.T. auch in Froidefontaine, in Rheinweiler und im Nord-Kaukasus nachgewiesen, aber nicht in den nördlichen Vergleichsfundstellen (vgl. Tab. 6, Abb. 38).

Der Großteil der rezenten Vergleichsarten für diese Fischeschiefer-Taxa ist auch heute auf die subtropischen bis tropischen, küstennahen Bereiche des Pazifiks, Atlantiks, des Roten Meeres, des Indischen Ozeans, des Schwarzen Meeres und Mittelmeeres verteilt: Der Großaugenbarsch *Pristigenys serrula* GILBERT 1891 (Priacanthidae) lebt in den subtropischen bis tropischen Gewässern des Ostpazifiks und der Westatlantische Trompetenfisch *Aulostomus maculatus* VALENCIENNES 1841 (Aulostomidae) ist in den tropischen Gebieten des Westatlantiks zu finden

(FRITZSCHE 1984, STARNES, 1988, MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 34/Anhang). Der gepunktete Schnepfenmesserfisch *Aeoliscus punctulatus* BIANCONI 1855 (Centriscidae), die Zebra-Seenadel *Dunckerocampus dactyliophrous* BLEEKER 1853 (Syngnathidae) und der pazifische Trompetenfisch *Aulostomus chinensis* LINNAEUS 1766 (Aulostomidae) sind im Roten Meer und im Indischen Ozean heimisch (FRITZSCHE 1984, KUITER 2001, MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 34/Anhang). Die Kurzschwanz-Fussnadel *Microphis brachyurus aceulaetus* KAUP 1856 (Syngnathidae) lebt entlang der afrikanischen Küste in subtropischen bis tropischen Gewässern. Der Degenfisch *Lepidopus caudatus* EUPHRASEN 1788 (Trichiuridae) ist im Ostatlantik, Mittelmeer, im südlichen Indischen Ozean und Südostpazifik heimisch; demgegenüber ist die Torpedo-Makrele *Scomberomorus commerson* LACEPÉDE 1800 (Scombridae) im Indopazifik, im westlichen Pazifik und entlang der afrikanischen Atlantikküste weit verbreitet und der Pelamide *Sarda sarda* BLOCH 1793 (Scombridae) lebt im Ostatlantik, Westatlantik, Mittelmeer und im Schwarzen Meer (NAKAMURA & PARIN 1993, COLLETTE & NAUEN 1983, MAXWELL et al. 2016; vgl. Kap. 4.5.5., vgl. Tab. 34/Anhang). Der Bonito *Sarda chilensis* CUVIER 1831 (Scombridae) ist im Pazifik heimisch und der Galeerenfisch *Cubiceps nanus* AGAFONOVA 1988 (Nomeidae) lebt in den tropischen Gewässern des westindischen Ozeans (COLLETTE & NAUEN 1983, AGAFONOVA 1994, MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 34/Anhang). Die Großaugen-Stachelmakrele *Caranx sexfasciatus* QUOY & GAIMARD 1825 (Carangidae) ist in den tropischen Gewässern des indischen und des pazifischen Ozeans heimisch und der Halbschnäbler *Hemiramphus brasiliensis* LINNAEUS 1758 (Beloniformes) ist in denjenigen des Atlantik zu finden (ROBINS & RAY 1986, PAXTON et al. 1989, MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 34/Anhang). Der Gemeine Ponyfisch *Leiognathus equulus* FORSSKÅL 1775 (Leiognathidae) kommt im Pazifik, im Indischen Ozean, im Roten Meer und im Persischen Golf und der Sägebarsch *Symphysanodon disii* KHALAF & KRUPP 2008 (Serranidae) im westlichen indischen Ozean vor (JAMES 1984, KHALAF & KRUPP 2008, MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 34/Anhang).

Großaugenbarsche (Priacanthidae), Schnepfenfische (Centriscidae), Trompetenfische (Aulostomidae), Sägebarsche (Serranidae) sowie Makrelen und Thunfische (Scombridae) sind neben den Heringen (Clupeidae) die häufigsten Knochenfischtaxa im Fischeschiefer (vgl. Kap. 4.5.2.). Die Vergesellschaftung des Fischeschiefers ist daher klar südlich geprägt (vgl. Abb. 36, 38).

Der Schwertfisch *Xiphias gladius* LINNAEUS 1758 (Xiphiidae) und der Eberfisch *Antigonia eos* GILBERT 1900 (Caproidae) leben heute weltweit in allen gemäßigten bis tropischen Meeren, aber selten in der Nähe von Küsten (NAKAMURA 1985, MUNDY 2005; vgl. Tab. 34/Anhang). Die Fischeschiefer-Gattungen *Hemiramphus* (Halbschnäbler, Hemiramphidae) und *Proantigonia*

7. VERGLEICH & DISKUSSION

(Eberfische, Caproidae) sind dementsprechend selten (vgl. Kap. 4.5.2.).

Lediglich ein Teil der südlichen Fischvergesellschaftung des Rupeliums ist heute eher in nördlich gelegenen Gewässern zu finden: Die Europäische Kurznasen-Seenadel *Syngnathus abaster* RISSO 1827 (Syngnathidae) und die Goldbrasse *Sparus aurata* LINNAEUS 1758 (Sparidae) sind typische Bewohner der europäischen Küstengewässer im Atlantik (FRITZSCHE 1984, KUITER 2001, BAUCHOT & HUREAU 1990, MAXWELL et al. 2016; vgl. Tab. 34/Anhang). Die rezenten Dorschartigen (Gadiformes) und der Eberfisch *Capros aper* LINNAEUS 1758 (Caproidae) kommen hauptsächlich im Nordatlantik und in der Nordsee vor und sind in subtropischen und tropischen Gebieten selten (COHEN et al. 1990, QUÉRO 1986). Einige Arten suchen aber flache Gewässer in Küstennähe und Seegraswiesen zur Eiablage auf (QUÉRO 1986; vgl. Tab. 34/Anhang). Beispielsweise könnte es sich bei der Dorschart *Palaeogadus* cf. *P. intergerinus* DANILTSCHENKO 1947 (Gadiformes) des Fischeschiefers um ein Taxon handeln, das auf der Suche nach geeigneten Laichplätzen aus der unteroligozänen Paratethys in den Meeresarm des ORG eingewandert ist und später auch das Nordmeer erreichte (vgl. Abb. 36).

Der Riesenhai *Keasius parvus* LERICHE 1910 (Cetorhinidae) wurde in allen unteroligozänen Vergleichsfundstellen nachgewiesen, außer im Mainzer Becken und im Nord-Kaukasus (vgl. Tab. 6). Im Mainzer Becken wurden aber die fragilen Kiemenreusendornen in den grobklastischen Sedimenten nicht überliefert (SCHINDLER et al. 2009). Aus dem Nord-Kaukasus sind bisher überhaupt keine Knorpelfischüberreste (Chondrichthyes) bekannt (PHARISAT & MICKLICH 1998).

Wie bereits angedeutet ist die Existenz einer Verbindung zwischen dem Rupelmeer und der Paratethys zur Ablagerungszeit des Fischeschiefers im ORG ist nicht abschließend geklärt (z. B. MICKLICH & PARIN 1996, GRIMM 2006; vgl. Kap. 1.1.3.6.). Bereits WEILER (1952, 1956, 1966) und MICKLICH & PARIN (1996) gingen aufgrund einer Einteilung der Fischarten in eine südliche und nördliche Fauna von einer durchgehenden Nord-Süd-Verbindung zwischen dem Nordmeer über den ORG und der Paratethys aus (vgl. Abb. 36). Auch SISSINGH (1998) argumentierte mit dem Verbreitungsmuster des Schnepfenmesserfisches *Aeoliscus heinrichi* HECKEL 1850 (Centriscidae) für eine Verbindung zwischen ORG und Paratethys (Abb. 38). Dagegen schließen andere Autoren eine solche Verbindung aus (z. B. BERGER et al. 2005a, GRIMM (2006)). GRIMM (2006) stützte diese Annahme auf die Untersuchung von benthischen Foraminiferen in der Niederrheinischen Bucht, im Mainzer Becken und im Molassebecken während des Rupeliums. Da es keine Foraminiferen-Gruppen gibt, die für den ORG und die Molasse gleiche Arten belegen, wurde eine Meeresverbindung zwischen dem südlichen ORG und dem der Molasse ausgeschlossen (GRIMM 2006). Allerdings wurde von GRIMM (2006) eingeräumt, dass die

Untersuchungen anhand der Verbreitung spezifischer Fischtaxa durch WEILER (1966) und MICKLICH & PARIN (1996) zu einem anderen Ergebnis kamen.

Die in der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse sprechen ebenfalls für einen Faunenaustausch zwischen der Paratethys und dem Rupelmeer. Der südliche Fauneneinfluss übertrifft im Fischeischiefer den nördlichen deutlich und spricht klar für eine marine Verbindung zwischen der Paratethys und dem Rupelmeer (vgl. Kap. 4.5.2., 7.1.11., Abb. 38). Dabei muss diese Verbindung nicht permanent existiert haben. Eventuell deutet das Fehlen des Schnepfenmesserfisches *Aeoliscus* (Centriscidae) in einigen Schichten im Profil der Tongrube Unterfeld sogar auf eine Unterbrechung dieser Verbindung hin (vgl. Kap. 5.4.3.).

Bisher wurden im Molassebecken und in den unteroligozänen Ablagerungen der Paratethys im Nord-Kaukasus keine Riesenhaie (Cetorhinidae) nachgewiesen. Es ist also naheliegend zu vermuten, dass diese Tiere vom Nordmeer her nicht bis in die Paratethys im Süden vorgedrungen sind (vgl. GRIMM 2006; vgl. Abb. 38). Ein Grund könnte gewesen sein, dass für diese Tier – bedingt durch das Fehlen von Plankton – die Rupelmeer-Paratethys-Verbindung nicht passierbar war (GRIMM 2006). Um den Verlauf und die zeitliche Existenz dieser marinen Verbindung zu verstehen, sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dabei ist zu klären, warum diese Verbindung zwischen ORG und Molassemeer für benthische Foraminiferen und Plankton offenbar eine Barriere darstellte, für viele Fischtaxa aber nicht.

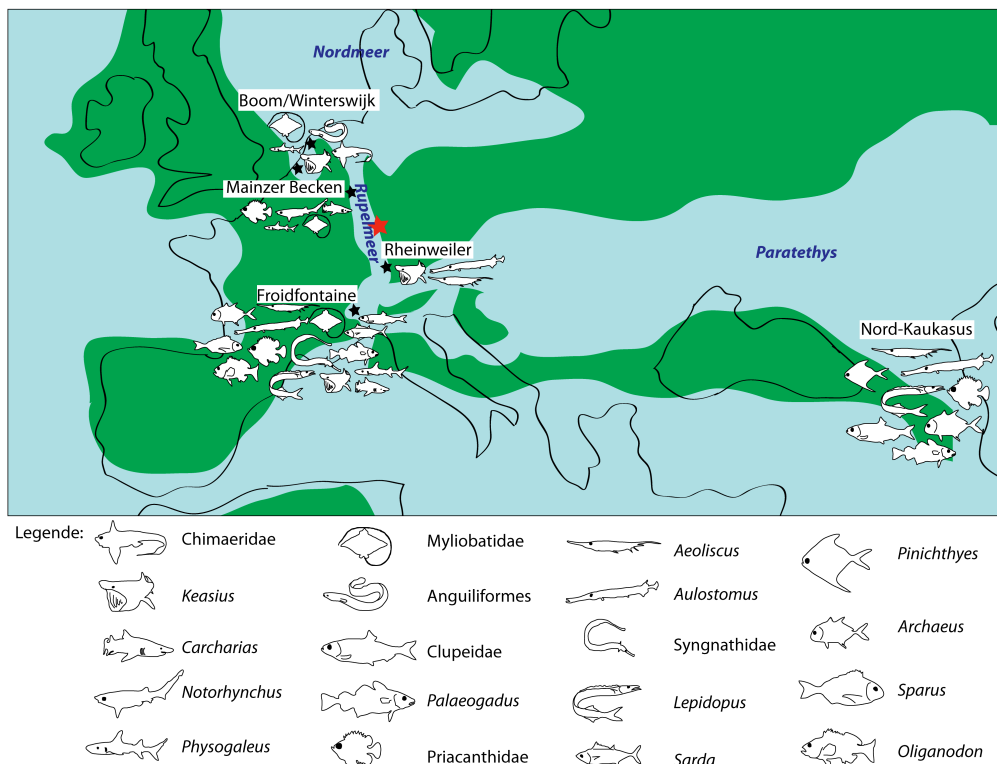


Abbildung 38: Paläobiogeographische Verteilung der unteroligozänen Fischfaunen im Nordmeer, im Rupelmeer und in der Paratethys.

7.2. Diskussion der paläoökologischen Rahmenbedingungen zur Ablagerungszeit des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“

7.2.1. Klimatische Bedingungen

Während des Rupeliums lagen die Jahresmitteltemperaturen in der Region der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ bei 16 bis 18 °C (z. B. WEILER 1966, SISSINGH 1998, 2003). Diese Werte passen zu den angenommenen bevorzugten Lebensbedingungen der häufigsten Taxa, welche heute in subtropischen bis tropischen Klimazonen leben (vgl. Kap. 4, 7.1.). Wahrscheinlich bestand zwischen der Temperatur der Luft und derjenigen der oberen Wasserschichten, wie in der heutigen Karibik, kein großer Unterschied.

7.2.2. Paläogeographie

Das Rupelmeer im ORG im Bereich zwischen Karlsruhe im Süden und Heidelberg im Norden wird meist als langer schmaler Meeresarm rekonstruiert (z. B. BERGER et al. 2005a, b; vgl. Kap. 1.1.3.6.). Dazu gegensätzlich steht die Überlegung, dass eine Bucht am östlichen Grabenrand existiert haben könnte (z. B. MICKLICH 1998). Zum einen gründet diese Interpretation auf der Tatsache, dass bisher am östlichen Grabenrand, im Gegensatz zum westlichen, keine gleichaltrigen Küstensedimente aufgefunden wurden (TRUNKO & MUNK 1998). Zum anderen basiert diese Annahme auf den rekonstruierten Lebensbereichen der häufigsten Fischtaxa aus dem Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“, welche die geschützten Flachwasserbereiche einer Bucht bevorzugen (MICKLICH 1998).

Die Vorstellung einer Bucht als Ablagerungsbereich für den Fischschiefer wird durch die hier erzielten Ergebnisse weiter untermauert. Für das Rupelmeer im Zentrum des ORG werden Wassertiefen von 200 bis 300 m angegeben (z. B. GRIMM et al. 2002). Die Vielzahl disartikulierter Wirbeltierfossilien und die Nähe zu den Seegraswiesen deuten jedoch darauf hin, dass sich der Ablagerungsbereich des Fischschiefers am östlichen Rand des ORG zumindest zeitweise in einer Wassertiefe von weit weniger als 50 m befunden haben könnte. Die vertikalen Häufigkeitsverteilungen der Fossilien im Profil der Tongrube Unterfeld weisen darauf hin, dass der Ablagerungsbereich nicht Teil des offenen Meeres im Westen war. Allerdings muss eine dauerhafte Verbindung existiert haben. Überreste von pelagischen Meeresbewohnern, wie z. B. von Heringen (Clupeidae), sind insgesamt selten, treten aber in allen Schichten auf. Dagegen wurde wahrscheinlich die marine Verbindung zu den litoralen Gebieten im Osten episodisch unterbrochen, denn die korrelierenden Häufigkeiten von Resten aus den Seegraswiesen und den Sumpfgebieten

gehen in einigen Schichten stark zurück. Die geomorphologische Struktur einer sich nach Westen vertiefenden und geöffneten Bucht könnte diese Bedingungen ermöglicht haben.

Wie weit das Meer in dieser „Rauenberger Bucht“ nach Osten reichte, bleibt aber weiterhin unbekannt, da auf den Grabenschultern die entsprechenden Sedimente fehlen (TRUNKÓ & MUNK 1998). Anhand der Lage der Tongruben (vgl. Abb. 14) können aber die Mindestmaße rekonstruiert werden (Abb. 39).

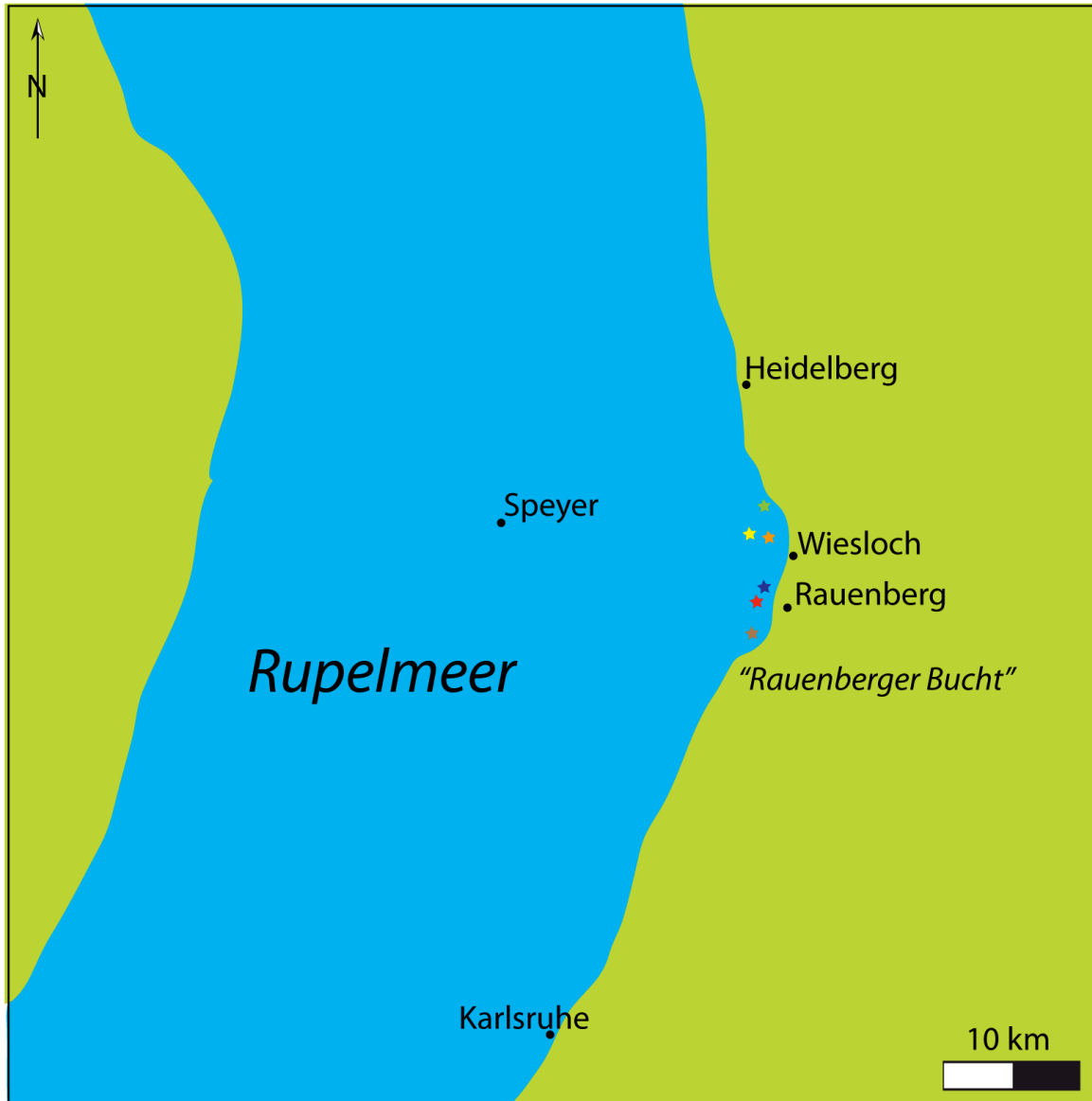


Abbildung 39: Paläogeographie und Küstenverlauf am östlichen Rand des ORG im Bereich der Paläogen-Scholle Wiesloch-Rot: grüner Stern: Tongruben „Unter dem Damm“ und „Dammstückern“ (Nr. 11 und 12 in Abb. 14), gelber Stern: Tongrube „Weinäcker“ (Nr. 8 in Abb. 14), orangefarbener Stern: Tongruben „Dämmelwald I“ und „Dämmelwald II“ (Nr. 9 und 10 in Abb. 14), blauer Stern: Tongruben „Frauenweiler“ und „Rohrlach“ (Nr. 6 und 7 in Abb. 14), roter Stern: Tongrube „Unterfeld“ (Nr. 5 in Abb. 14), brauner Stern: Tongruben „Viehweg“, „Dittmannstal“, „Reimsloch und „Guggen“ (Nr. 1 bis 4 in Abb. 14).

7. VERGLEICH & DISKUSSION

7.2.3. Wassertiefe

Bezüglich der Rekonstruktion der Wassertiefe in dieser „Rauenberger Bucht“ gibt es zwei stark divergierende Modelle: „*Tiefwasser-Hypothese*“ nach GRIMM (1991) vs. „*Flachwasser-Hypothese*“ nach MICKLICH (1998). Wie bereits in Kap. 3.5. beschrieben, geht die „*Tiefwasser-Hypothese*“ nach GRIMM (1991) nicht von einer Bucht, sondern von einem 200 m tiefen, marinen Randbecken aus (z. B. GRIMM et al. 2002). Diese Annahme kann aber durch die hier erzielten taphonomischen Ergebnisse und vertikalen Häufigkeitsverteilungen nicht bestätigt werden. Der starke Zerfall vieler Fischfossilien, die Belege von wieder aufgetriebenen Driftleichen und Seegraswiesen in der Nähe des Ablagerungsbereiches sprechen gegen diese Annahme. In den Sedimenten eines 200 m tiefen Meeresbeckens würde sich zudem ein anderes Bild der Fossilhaltung bieten, als es bisher aus dem Fischeschiefer bekannt ist. Es wäre beispielsweise ein deutlich höherer Anteil an vollständigen und artikulierten Wirbeltierfossilien zu erwarten, da selbst große Kadaver aus 200 m Wassertiefe nicht wieder auftreiben würden. Die wenigen vollständigen Wirbeltierfossilien, die aus den institutionellen Sammlungen bekannt sind, könnten durchaus aus Schichten stammen, die unter solchen Wassertiefen abgelagert wurden. Allerdings sind dann diese Schichten heute nicht mehr aufgeschlossen. In dem hier bearbeiteten Profil der Tongrube Unterfeld gibt es keine Hinweise darauf, dass einzelne Schichten in einer Wassertiefe von 200 m abgelagert wurden. Es müsste in diesem Fall auch mit einer deutlich höheren Abundanz von Ganzkörperfossilien großer, pelagischer Fischarten, wie z. B. von Riesenhaien (Cetorhinidae) oder Makrelen- und Thunfischen (Scombridae) gerechnet werden. Besonders die Riesenhaie (Cetorhinidae) hätten ein tiefes Meeresbecken sicherlich regelmäßig während den Planktonblüten auf Nahrungssuche durchschwommen und wären dort gelegentlich auch umgekommen. Große Fischarten sind aber aus dem Fischeschiefer meist nur anhand von eingedrifteten Kiemenreusendornen oder Skelettresten bekannt. Planktonreste in den Kiemenreusendornen, die eine Nahrungssuche der Riesenhaie (Cetorhinidae) im Bereich des Ablagerungsraumes belegen würden, wurden auch nicht nachgewiesen. Die Seegraswiesen, welche sich nachweislich in der Nähe des Ablagerungsbereiches befanden, lagen höchstwahrscheinlich in einer Wassertiefen von maximal 20 m. Eine Steilküste zwischen diesen Seegraswiesen und dem Ablagerungsbereich ist aufgrund von fehlenden grobklastischen Schüttungen im Fischeschiefer der Tongrube Unterfeld auszuschließen. Die „*Tiefwasser-Hypothese*“ nach GRIMM 1991 ist nicht aufrecht zu erhalten.

Für die Ablagerungsmodelle der Vergleichsfundstellen Froidefontaine, Rheinweiler, Boom und Winterswijk werden unterschiedliche Wassertiefen angegeben. Der Fischeschiefer von Froidefontaine wurde ebenfalls in einer Bucht („Golf von Montbeliard“, vgl. Kap. 7.1.5.), derjenige der Brinkheurne- und Boom-Formationen auf dem inneren Schelf (vgl. Kap. 7.1.9., 7.1.10.) und

derjenige der Bodenheimer-Formation von Rheinweiler auf dem äußeren Schelf abgelagert (vgl. Kap. 7.1.6.). Die Sedimente der Brinkheurne- und der Boom-Formation haben sich in etwa 100 m Wassertiefe gebildet. Allerdings verflacht das Ablagerungsmilieu zum Top der Abfolge hin und parallel geht der Sauerstoffgehalt zurück (VAN SIMAEYS & VANDENBERGHE 2006; vgl. Kap. 7.1.9., 7.1.10.). Für den Ablagerungsbereich des Fischschiefers bei Rheinweiler wird eine Wassertiefe von 200 bis 300 m angegeben (DE PIETRI et al. 2009; vgl. Kap. 7.1.6.). Zur Froidefontaine-Formation liegen diesbezüglich keine genauen Angaben vor. Der hohe Anteil an litoraler Fischfauna lässt jedoch vermuten, dass die küstennahen Sedimente wahrscheinlich in Wassertiefen von weniger als 50 m abgelagert wurden (z. B. PHARISAT & MICKLICH 1998; vgl. Kap. 7.1.5.). Der niedrige Sauerstoffgehalt (vgl. Kap. 7.2.4.) wie am Top der Boom- und Brinkheurne-Formation und die ähnliche Fischfauna wie in Froidefontaine lässt auf ähnliche Ablagerungsbedingungen für den Fischschiefer der Tongrube Unterfeld schließen (vgl. Kap. 7.1.11.). Dies würde der „*Flachwasser-Hypothese*“ nach MICKLICH (1998) entsprechen. Die von MICKLICH (1998) geforderten Seegrasgewächse (Zosteraceae) wurden im Zuge der vorliegenden Arbeit nachgewiesen. Die häufigen Exemplare sind aber allochthon verfrachtet und autochthones Vorkommen lag wohl außerhalb des Ablagerungsbereiches vor. Die Entfernung zwischen dem Ablagerungsbereich und denen im Osten gelegenen Seegraswiesen kann aufgrund fehlender Sedimente nur geschätzt werden und lag vermutlich bei weniger als einem Kilometer (vgl. Abb. 39).

Die absolute Wassertiefe unter welcher der Fischschiefer der Paläogenscholle „Wiesloch-Rot“ abgelagert wurde, kann hier nicht abschließend geklärt werden. Die Kenntnis über die Morphologie des Paläoreliefs würde eine genaue Rekonstruktion der Wassertiefe erlauben. Diese ist jedoch aufgrund der starken tektonischen Aktivitäten im ORG und fehlender Sedimente am Grabenrand nicht verlässlich rekonstruierbar. Insgesamt ist von einer seichten Küste und graduellen Vertiefung von den Seegraswiesen zum westlich gelegenen Rupelmeer auszugehen (vgl. Abb. 39).

7.2.4. Sauerstoffgehalt

Die bituminösen Tone des Fischschiefers wurden in der „Rauenberger Bucht“ vermutlich unter anoxischen Bedingungen abgelagert (z. B. GRIMM et al. 2002). Dafür sprechen neben den sedimentologischen Befunden auch die Analysen des Endobenthos, der Erhaltungsmuster der Wirbeltierfossilien und der horizontalen Orientierung der Fossilien.

Kohlenstoff- und Sulfidanreicherungen (Pyrit) im Fischschiefer zeugen von einer Akkumulation von organischen Bestandteilen in einem sauerstoffarmen Milieu (BÖCKER & LITKE 2014). Dies führte zu der Ablagerung eines dunkelgrauen bis schwarzen Faulschlamms, der sich im Laufe der

7. VERGLEICH & DISKUSSION

Diagenese zu sapropelitischen Tonen verfestigte.

Endobenthos ist sehr selten und die häufigsten angetroffenen Taxa tolerieren hypoxische bis anoxische Bedingungen. Da auch Bioturbation im Fischschiefer sehr selten ist, ist die geringe Abundanz von endobenthischen marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) vermutlich nicht auf Schalenlösung im größeren Umfang zurückzuführen. Sonst wären zumindest ihre Spuren in Form von Bioturbation zahlreich im Sediment nachzuweisen. Diese Taxa waren höchstwahrscheinlich sehr selten. Für die epibenthischen Wirbellosen (Makroinvertebrata) ist ähnliches anzunehmen. Die geringe Abundanz von marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata) in einem küstennahen Ablagerungsbereich unterstützt die Annahme, dass der Sauerstoffgehalt die meiste Zeit sehr gering gewesen sein muss.

Wirbeltierkadaver, welche den Ablagerungsbereich erreichten, wurden ohne weitere Zerstörungen fossilisiert. Davon zeugen die wenigen vollständig überlieferten Fossilien. Aber auch die vielen verdrifteten Kadaver, welche vor dem Absinken einem graduellen Zerfall ausgesetzt waren, wurden am Meeresboden nicht weiter zerstört. Das deutet erneut auf das Fehlen von Destruenten und Endobenthos im Ablagerungsbereich hin und spricht für niedrige Sauerstoffwerte. Außerdem scheint der Großteil der marinen Tierarten den Ablagerungsbereich gemieden zu haben.

Der Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ wurde während der zweiten (FS A) und der dritten Rupeltransgression (FS B) abgelagert, welche zu stagnalen Bedingungen führten (vgl. Kap. 1.1.3.6.). Das belegt auch die Analyse der horizontalen Orientierung der Fossilien. Bodennahe Meeresströmungen hätten im Fischschiefer eine Einregelung von spezifischen Fossilien, wie z. B. von Seegrasblättern oder Knochenfischen (Teleostei), und damit auch zu einer Durchlüftung des Ablagerungsbereiches geführt. Die zum Vergleich der Faunen herangezogenen Fischschiefer-Aufschlüsse der Lokalitäten Rheinweiler, Boom und Winterswijk wurden ebenfalls als Stillwasserbereiche mit geringen Sedimentationsraten und anoxischen Events rekonstruiert (VAN DEN BOSCH 1984b, VAN SIMAEYS & VANDENBERGHE 2006, DE PIETRI et al. 2009; vgl. Kap. 7.1.).

Stagnale Bedingungen im Tiefenwasser und ein daraus resultierender Sauerstoffmangel entstehen bei einer fehlenden Wasserzirkulation (RABOUILLE et al. 2008). Diese ist beeinträchtigt, wenn salzarmes Oberflächenwasser auf salzreichem, dichterem Tiefenwasser liegt oder wenn ein geschützter Küstenbereich, z. B. eine Bucht, von Meereswellen oder Winden nicht erreicht wird (RABOUILLE et al. 2008). Eine erhöhte Bioproduktivität im Oberflächenwasser fördert zusätzlich eine Anoxie am Meeresboden (RABOUILLE et al. 2008).

Für die hyp- bis anoxischen Ablagerungsverhältnisse der laminierten Schichten des Fischschiefers waren wahrscheinlich zwei der oben genannten Faktoren verantwortlich: periodische Algenblüten, welche zeitweise die Bioproduktivität im Oberflächenwasser erhöhten, und ein Süßwassereinfluss.

Dass durch Winde die SWB gelegentlich den Meeresboden erreicht und so zweitweise den Sauerstoffgehalt erhöht hat, belegen die nicht-laminierten Lagen im Profil (vgl. Kap. 3.5.).

Die krustigen Kalklagen („Karbonathaut“) von Coccolithophoriden, die in den laminierten Schichten des Profils nachgewiesen wurden, sind ein Hinweis auf periodische Algenblüten. Nach GRIMM et al. (2002) können diese Blüten aber nur in Upwelling-Bereichen oder in dem Bereich von Flussmündungen auftreten. Ein Upwelling in einem schmalen Meeresarm wurde bereits ausgeschlossen (GRIMM et al. 2002; vgl. Kap. 3.5.). Aufgrund fehlender sedimentologischer Hinweise im Bereich der Tongrube Unterfeld schlossen GRIMM et al. (2002) auch Flussmündungen als Ursache aus. Die Autoren nahmen dagegen an, dass eine submarine Schwelle zwischen dem Ablagerungsbereich und dem Meeresarm im ORG bestanden haben muss, um eine Anreicherung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die für eine erhöhte Planktonproduktion nötig sind, in einem anoxischen Milieu zu erreichen. Denn nur dann wäre der Abfluss des Tiefenwassers und damit eine Wasserzirkulation im Ablagerungsbereich verhindert worden (GRIMM et al. 2002). Die Mächtigkeitszunahme der Schichten der Pechelbronner-Gruppe auf der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ im Bereich Wiesloch-Frauenweiler und Rauenberg im Verhältnis zu der westlich gelegenen Auwald-Hochscholle und des nördlich angrenzenden Dämmelwald-Horstes (vgl. Abb. 12, Kap. 1.1.1.3.), führte zu der Annahme, dass prä- und synsedimentäre Strukturen vorlagen, die verfüllt wurden (GRIMM et al. 2002). Diese Strukturen hätten während der Ablagerungszeit des Fischeschiefers Fallen für kälteres und nährstoffreiches Tiefenwasser gebildet (GRIMM et al. 2002). Steigt es auf, hätte es im Oberflächenwasser zu Planktonblüten geführt. Nach GRIMM et al. (2002) sind letztere durch die krustigen Kalklagen im Fischeschiefer angezeigt. Die Autoren gingen aber für die Ablagerungszeit des Fischeschiefers von einer Wassertiefe von etwa 200 m aus („*Tiefwasser-Hypothese*“) und diese Hypothese wurde hier bereits widerlegt.

Vielmehr ist die ehemalige Existenz einer oder mehrere Flussmündungen im Osten der „Rauenberger Bucht“ aufgrund der hier erzielten Ergebnisse nicht mehr auszuschließen (vgl. Abb. 37). Dann würde die Zirkulation der Wassersäule eingeschränkt, weil sich leichteres Süßwasser über dichteres Salzwasser geschoben hat. Etliche taxonomische und taphonomische Ergebnisse sprechen dafür: Süßwasserfische und -schildkröten sowie Krokodile (Crocodylia) wurden im Fischeschiefer vereinzelt nachgewiesen. Außerdem zeugen Pflanzhäcksel und einige Wirbeltierreste von langen Transportwegen mit einer hohen mechanischen Beanspruchung wie sie unter anderem in fluviatilen Systemen auftreten. Da rezente Sümpfe oft an ein Flusssystem angeschlossen sind, kann auch bei dem hier rekonstruierten litoralen Sumpfgebiet im Osten der „Rauenberger Bucht“ davon ausgegangen werden. Süßwasser, welches aus einem fluviatilen System in die Bucht eingeflossen wäre, hätte zu einer Reduzierung des Salzgehaltes in den

7. VERGLEICH & DISKUSSION

Sumpfbereichen und so zu lebensfreundlichen Bedingungen für die brackwassertoleranten Sumpfpflanzen geführt. Große Flussmündungen, wie z. B. Deltas, sind aufgrund der schmalen Entwässerungszone an der östlichen Grabenschulter des ORG und des Fehlens entsprechender Ablagerungen auszuschließen (GEYER & GWINNER 2012). Jedoch hätten auch kleine Süßwassereinströmungen eine natürliche Hypoxie in den unteren Wasserschichten der „Rauenberger Bucht“ gefördert (RABOUILLE et al. 2008; vgl. Abb 37). Die von GRIMM et al. (2002) angenommenen prä- und synsedimentären Strukturen hätten dann auch in dem Flachwasserbereich der „Rauenberger Bucht“ Fallen für schweres, sauerstoffarmes, salzhaltiges Wasser darstellen können. Eine submarine Schwelle zwischen dem flachmarinen Ablagerungsbereich und dem offenen Meer ist geologisch bisher nicht rekonstruierbar, da entsprechende Ablagerungen fehlen. Die Ergebnisse über die Erhaltung der Wirbeltierfossilien haben gezeigt, dass die anoxische Wasserschicht über dem Meeresboden wahrscheinlich nur wenige 100 mm mächtig war. Einige Fossilien, wie z. B. diejenigen von Rochen (Myliobatidae) oder Schiffshaltern (Echeneidae), zeigen aufgrund spezifischer Zerstörungen an, dass am Meeresboden liegende Kadaver zum Teil in eine sauerstoffhaltige Wasserschicht emporragten (z. B. HOVESTADT et al. 2010, MICKLICH et al. 2016). Damit könnten die darüber liegenden Wasserschichten lebensfreundlich gewesen sein, wie es in der Vergangenheit rekonstruiert wurde (z. B. WEILER 1966, MICKLICH 1998). Allerdings wurde im Zuge der vorliegenden Arbeit deutlich, dass wahrscheinlich auch das Oberflächenwasser nur von wenigen Organismen dauerhaft besiedelt war bzw. nur durchschwommen wurde. Die meisten Kadaver wurden nachweislich eingeschwemmt. Wären die oberen Wasserschichten reich bevölkert gewesen, wären mehr und besser erhaltenen Fossilien im Fischeschiefer zu erwarten.

7.2.5. Das Ablagerungsmodell

Der Fischeschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ und speziell derjenige der Tongrube Unterfeld wurde während des Rupeliums vermutlich in einer Bucht unter Stillwasserbedingungen abgelagert. Durch periodische Algenblüten und einen Süßwassereinfluss war die Wassersäule in der „Rauenberger Bucht“ stratifiziert. Sauerstoffreiches, warmes und salzarmes Oberflächenwasser lag auf sauerstoffarmen, kalten und salzreichen Tiefenwasser. Die Wassertiefe betrug zumindest zeitweise weit weniger als 50 m. Die Ablagerungszeit war durch Veränderungen der ökologischen Rahmenbedingungen charakterisiert. Hierbei waren vor allem die Wassertiefe und der Sauerstoffgehalt im Ablagerungsbereich episodischen Schwankungen unterlegen. Dies hatte Auswirkungen auf das Ablagerungsmilieu, die biostratinomischen Prozesse und die Zusammensetzung der Taphozönose.

Die laminierten Schichten wurden ohne Durchmischung der Wassersäule oder des Sediments

unterhalb der SWB abgelagert und es herrschten im bodennahen Wasserbereich extreme Stillwasserbedingungen und ein Sauerstoffmangel. Das Auftreten von krustigen Lagen (Coccolithophorida), welche auf die Algenblüten hindeuten, und das Fehlen von jeglicher Bioturbation in diesen Schichten unterstützt diese Annahme.

Die nicht-laminierten Schichten zeigen, dass es in unregelmäßigen Abständen zu einer kurzzeitigen Durchmischung der Wassersäule und des Sediments kam, welche zu einer Durchlüftung der Wassersäule führte. Diese Annahme wird durch das Vorkommen von Foraminiferen-Massenlagen und Bioturbation in diesen Schichten unterstützt. Zu diesen erhöhten Sauerstoffgehalten im Ablagerungsbereich könnte es durch einer Verringerung des Meeresspiegels und/oder tiefgreifende Sturmereignisse gekommen sein.

Der Fossilgehalt der meisten Schichten spricht für eine stabile marine Verbindung zwischen dem Ablagerungsbereich und dem Rupelmeer im Westen und den Seegraswiesen und litoralen Sumpfgebieten im Osten (Schichttyp I und II; vgl. Kap. 5.5., Abb. 40, 41). In diesen Schichten ist der Eintrag aus diesen Liefergebieten entsprechend hoch (vgl. Diagr. 50).

Während die Pakete aus laminierten Schichten ohne Durchmischung der Wasserschichten und des Sedimentes über einen längeren Zeitraum unterhalb der SWB abgelagert wurden (Schichttyp I; vgl. Kap. 5.5., Abb. 40), spricht die Wechsellagerung von laminierten und ungeschichteten Schichten für eine episodische Durchmischung durch Stürme, welche die SWB kurzzeitig nach unten verlagerten (Schichttyp II; vgl. Kap. 5.5., Abb. 41). Die Wassertiefe dürfte hierbei keinen Veränderungen unterlegen gewesen sein, da der Eintrag aus den Seegraswiesen und dem litoralen Sumpfgebiet weiterhin stabil bleibt (vgl. Abb. 50).

Einige der laminierte Schichten deuten auf einen starken Rückgang des Eintrages aus den Seegraswiesen und den litoralen Sumpfgebiet hin (Schichttyp III; vgl. Kap. 5.5., Abb. 42). Vielleicht hat ein etwas niedrigerer Meeresspiegelstand den Eintrag von Seegrasfragmenten und Pflanzenhäckseln aus dem litoralen Sumpfgebiet in diesen Schichten verringert. Allerdings dürfte der Meeresspiegel nicht sehr weit zurückgegangen sein, da die laminierten Schichten weiterhin für eine Ablagerung unterhalb der SWB sprechen.

Im Gegensatz dazu scheinen zumindest einige Schichten unter einem so niedrigen Wasserstand abgelagert worden zu sein, dass die SWB den Ablagerungsbereich erreichte und der Eintrag aus den Seegraswiesen und dem litoralen Sumpfgebiet signifikant zurückgegangen ist. Diese ungeschichteten Lagen sind durch einen deutlichen Rückgang der Fossilien aus diesen Liefergebieten charakterisiert, während diejenigen aus dem Rupelmeer nur leicht zurückgehen (Schichttyp IV; vgl. Kap. 5.5., Diagr. 50, Abb. 43).

7. VERGLEICH & DISKUSSION

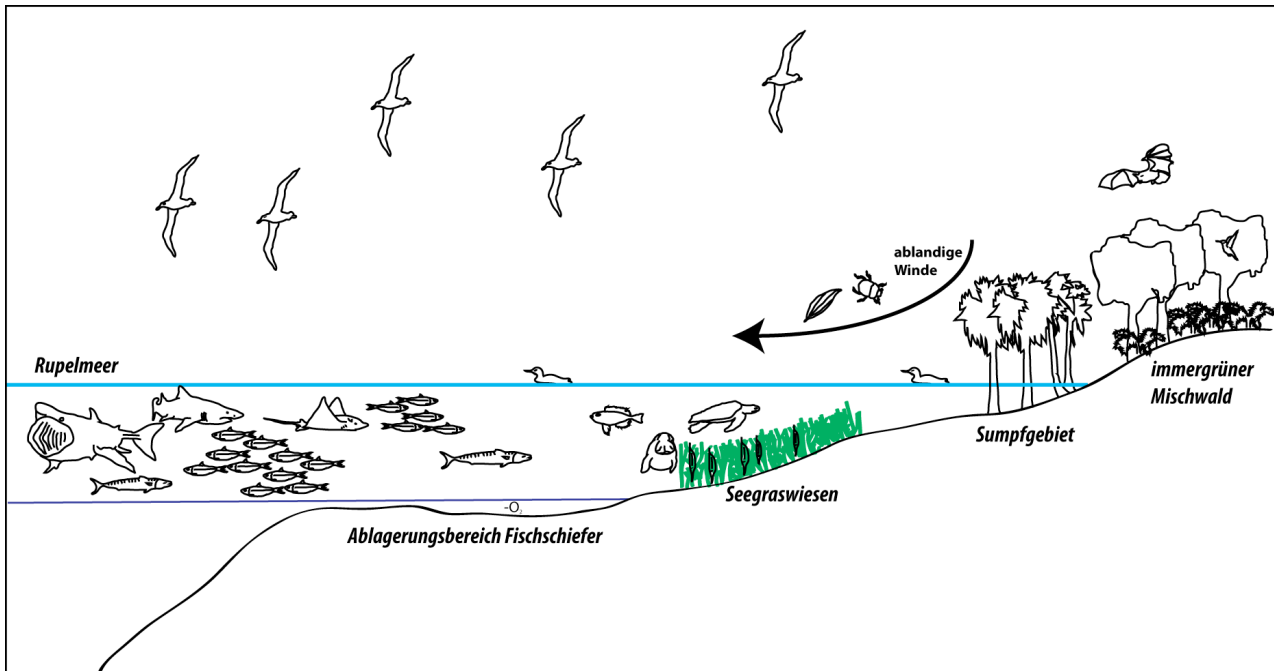


Abbildung 40: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp I: laminierte Schichten, stagnale Ablagerungsbedingungen, keine Bioturbation, keine Veränderung der SWB, hoher Fossileintrag, Stratifikation der Wassersäule.

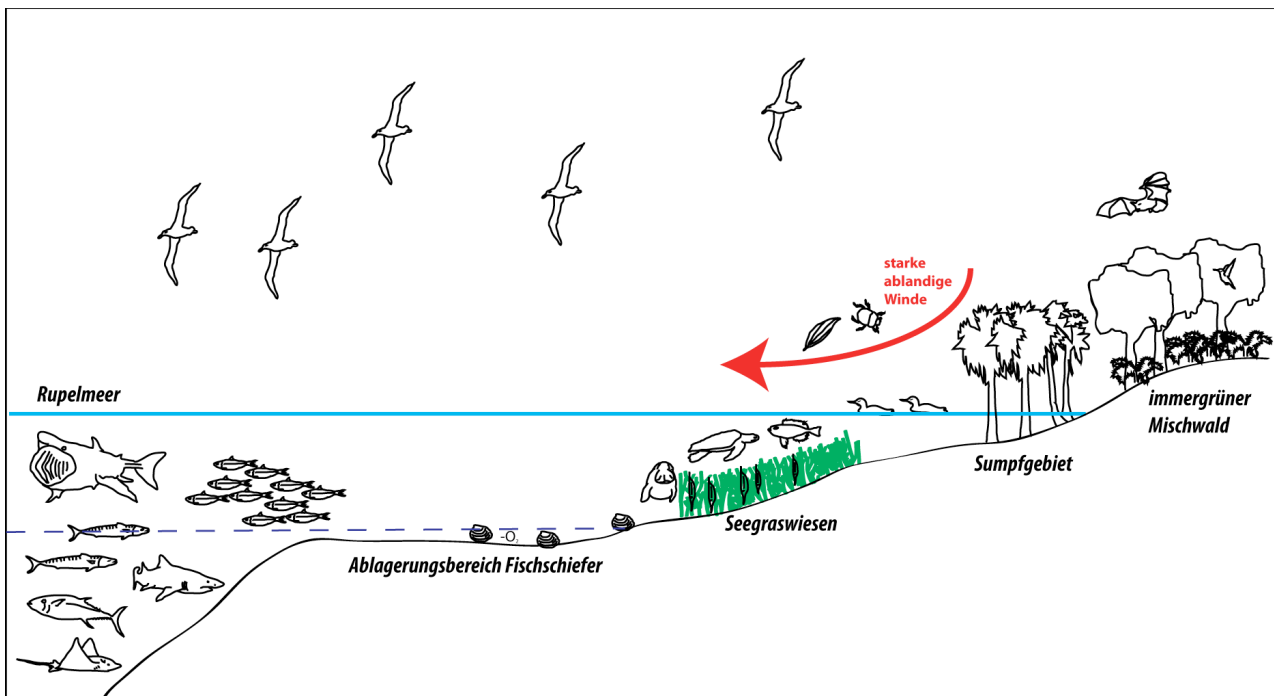


Abbildung 41: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp II: ähnlich zu Schichttyp I mit stärkeren Sturmereignissen (Wechselagerung aus massigen und laminierten Schichten), Eintrag aus dem Rupelmeer leicht verringert, Bioturbation.

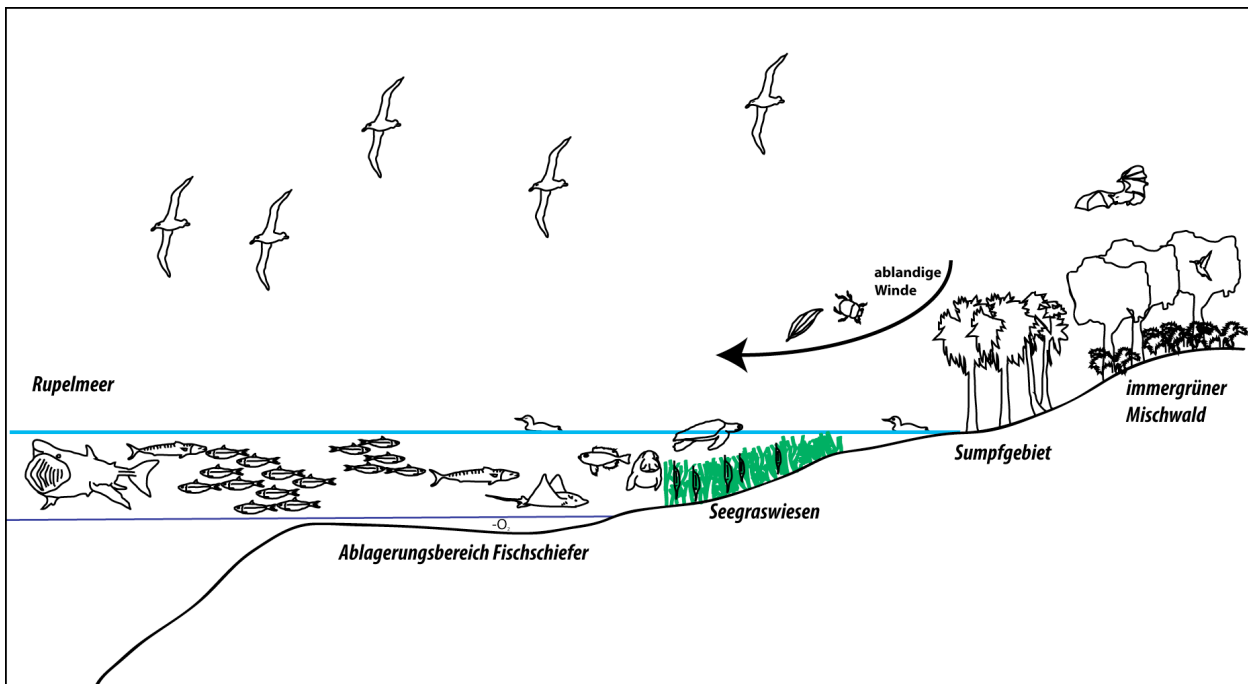


Abbildung 42: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp III: hauptsächlich laminierte Schichten, Wasserstand niedriger als bei der Bildung der Schichttypen I und II, Eintrag vom Land aus den Seegraswiesen geht leicht, aus dem litoralen Sumpfgebiet stark zurück.

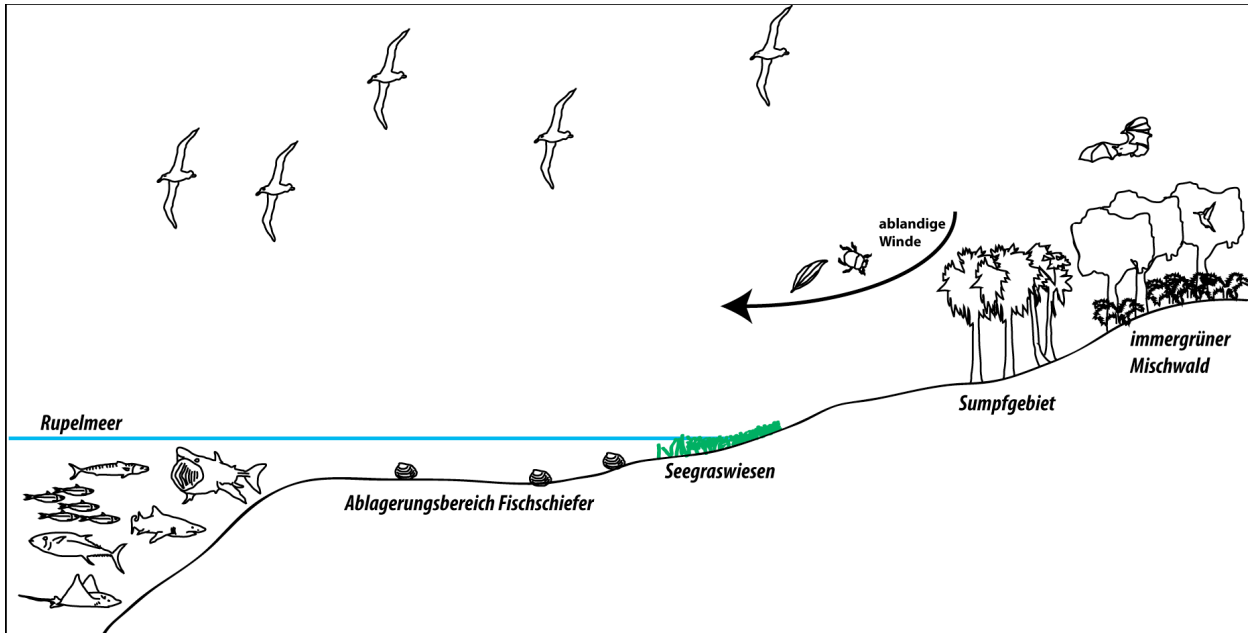


Abbildung 43: Schematisches Ablagerungsmodell des Fischschiefers der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ während des Rupeliums, Bildung von Schichttyp IV: niedrigster Wasserstand, Wasserzirkulation, Bioturbationen, Eintrag aus den Seegraswiesen und dem litoralen Sumpfgebiet geht sehr stark zurück, aus dem Rupelmeer nur leicht.

8. Fazit

Der Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ wurde während des mittleren Rupeliums am östlichen Rand des Rupelmeeres im ORG abgelagert. Die Sedimente umfassen sapropelitischen Tone und Silte, welche entweder fein laminiert oder ungeschichtet sind. Der Fischschiefer ist im gesamten ORG verbreitet und wird zur Bodenheim-Formation gestellt.

Die Tongrube Unterfeld bei Rauenberg ist mit einem etwa 5 m mächtigen Profilabschnitt einer der letzten Aufschlüsse, an denen der Fischschiefer des ORG noch zugänglich ist. Die unteren 600 mm des Profils umfassen die Einheit „Fischschiefer A“. Der Rest des Profils wird der Einheit „Fischschiefer B“ zugeordnet. Diese Zuordnung wurde anhand der Häufigkeitsverteilung der Kiemenreusendornen vorgenommen, die im „Fischschiefer A“ fehlen.

Die untersuchten Sedimente wurden in einem anoxischen Stillwasserbereich meist unterhalb der SWB abgelagert. Diese Interpretation wird durch die feine Lamination und das Fehlen von Bioturbation in diesen Schichten unterstützt. Durch leichte Herabsetzungen der SWB wurden die Faulschlammablagerungen gelegentlich verwirbelt und dadurch kurzfristig durchlüftet. Diese Annahme wird durch ungeschichtete Tonsteinlagen gestützt, welche durch ein Auftreten von Endobenthos und benthonische Foraminiferen charakterisiert sind.

Für die vorliegende Arbeit wurde ca. 10.000 Exemplaren aus institutionellen Fischschiefer-Sammlungen erfasst. Diese Sammlungen entstanden meist durch jahrelange, ehrenamtliche und wissenschaftliche Sammlertätigkeit und belegen eine große Artenvielfalt für die Ablagerungen. Zusätzlich wurde in der Tongrube Unterfeld eine feinstratigraphische Grabung durchgeführt. Dadurch wurden neue Erkenntnisse über die vertikale Häufigkeits- und Diversitätsverteilung der Taxa erzielt.

Die Fossilvergesellschaftung umfasst Pflanzen (Embryophyta), Wirbellose (Makroinvertebrata), Knorpelfische (Chondrichthyes), Knochenfische (Teleostei) sowie Landwirbeltiere (Tetrapoda). Diese umfassende Fossil-Vergesellschaftung besteht aus unterschiedlichen Grab- bzw. Einbettungsgemeinschaften (Taphozöosen).

Die terrestrischen Pflanzenfossilien stammen aus litoralen Sumpfgebieten und immergrünen Laubmischwäldern, welche sich im Osten an den marinen Ablagerungsbereich anschlossen. Die fragmentarische Erhaltung der meisten Pflanzenreste spricht für lange Transportwege. Die wenigen gut erhaltenen Blätter und vollständigen Palmwedel sprechen aber auch für einen Bewuchs bis direkt an die Uferkante, so dass vereinzelte Pflanzenteile über sehr kurze Transportwege annähernd unversehrt im Ablagerungsbereich ankamen.

Landlebende Wirbellose (Chelicerata, Insecta) sind selten. Sie wurden wahrscheinlich äolisch aus angrenzenden Waldgebieten eingetragen und bestätigen die küstennahe Lage des

8. FAZIT

Ablagerungsbereiches.

Terrestrische Landwirbeltiere (Aves, Chiroptera, Creodonta) sind ebenfalls sehr selten und die fragmentarische Erhaltung zeugt wiederum von langen Transportwegen.

Die marinen Pflanzenfossilien stammen aus Seegraswiesen. Die fragmentarische Erhaltung der Seegrasblätter spricht für einen stark allochthonen Eintrag.

Marine Wirbellose (Gastropoda, Bivalvia, Echinodermata, Crustaceae) sind selten und wenig divers. Das spricht für einen für diese Organismen lebensfeindlichen Ablagerungsbereich.

Die Diversität der Knorpelfische (Chondrichthyes) ist für eine unteroligozäne, marine Fundstelle vergleichsweise gering. Mit Ausnahme der Kiemenreusendornen des Riesenhai *Keasius parvus* LERICHE 1910 (Cetorhinidae) sind ihre Überreste selten. Dies ist ein Hinweis darauf, dass auch das Oberflächenwasser über dem Ablagerungsbereich arm an Leben war.

Knochenfische (Teleostei) sind dagegen artenreich und vergleichsweise häufig. Dies hat in der Vergangenheit zu der irrtümlichen Annahme geführt, dass der gesamte Ablagerungsbereich lebensfreundlich gewesen sein könnte. Allerdings belegt die sedimentologische Analyse hyp- bis anoxische Ablagerungsbedingungen. Die taphonomische Analyse ergab, dass der Großteil der Fischfossilien aus dem westlich gelegenen, offenen Rupelmeer und aus den östlich gelegenen Flachwasserbereichen mit Seegraswiesen eingeschwemmt wurde.

Marine Landwirbeltiere (Sirenia, Cheloniidae) sind wiederum überaus selten und durchschwammen den insgesamt lebensfeindlichen Ablagerungsbereich wahrscheinlich nur selten oder gar nicht. Vielmehr stammen die wenigen überlieferten Fossilien größtenteils von eingedrifteten Kadavern.

Im Rahmen der schichtweisen Dokumentierung der Fossilien im Profil der Tongrube Unterfeld ergaben sich korrelierende Häufigkeitsverteilungen zwischen Elementen aus den Seegraswiesen und denjenigen der östlich anschließenden litoralen Waldgebiete, die in den Ablagerungsbereich transportiert wurden. Damit ist gesichert, dass beide aus derselben Richtung eingeschwemmt wurden, nämlich von Osten. Die Seegraswiesen waren damit vermutlich der Küste vorgelagert. Während der Eintrag aus dieser litoralen Zone in den Ablagerungsbereich episodisch erfolgte, riss der Eintrag aus dem im Westen gelegenen Rupelmeer nie vollständig ab. Das wird unter anderem durch die durchgehende Anwesenheit von Heringsfossilien im gesamten Profil belegt.

Vier Schichttypen wurden differenziert. Diese sind durch unterschiedliche Häufigkeiten, Erhaltungszustände und Lithologien charakterisiert. Zwei Schichtentypen wurden unter dem gleichen Meeresspiegelstand abgelagert. In diesen Schichten ist der Fossileintrag aus sämtlichen Liefergebieten hoch. Während der eine Schichttyp nur laminierte Schichten aufweist, besteht der andere aus einer Wechsellagerung aus laminierten und nicht-laminierten Schichten. Dabei werden diese ungeschichtete Tonsteine Sturmereignissen zugeordnet, welche durch starke Wellenbewegung

zu einer Aufwirbelung des Sediments führten. Der Meeresboden lag also zumindest für diese zwei Schichteinheiten meist unterhalb der SWB.

Der dritte Schichttyp wurde vielleicht unter einem geringeren Meeresspiegel als die ersten beiden abgelagert, weil der Fossileintrag aus dem litoralen Sumpfgebiet stark zurückgeht, der aus den Seegraswiesen aber nur leicht. Auch ist der Anteil ungeschichteter Lagen in den Wechsellagerungen sehr hoch, was für ein vermehrtes Erreichen des Meeresbodens durch die SWB spricht.

Ein vierter Schichttyp wird auch einem geringeren Meeresspiegel zugeordnet. Diese Sedimenteinheiten sind durch einen deutlich verminderten Eintrag sowohl aus dem litoralen Sumpfgebiet als auch aus den Seegraswiesen charakterisiert. Ein gesunkener Meeresspiegel hätte die marine Verbindung zwischen dem Ablagerungsbereich und der litoralen Vegetationszone unterbrochen.

Durch Vergleiche mit anderen europäischen Floren des frühen Oligozän wurden für den Fischschiefer vier Pflanzen-Assoziationen definiert: eine marine Assoziation bestehend aus Seegraswiesen, ein litorales Sumpfgebiet, eine Laubmischwaldgemeinschaft sowie im östlichen Hinterland eine submontane Pflanzengesellschaft. Die schlechte Erhaltung von Pflanzenfossilien terrestrischer Herkunft führte in der Vergangenheit mehrfach zu der Annahme, dass in der Uferzone Flussmündungen existiert haben könnten. Die hier durchgeführte Rekonstruktion der Küstenvegetation mit einem litoralen Sumpfgebiet unterstützt diese Interpretation. Die aus dem Fischschiefer dem Sumpfgebiet zugeordneten Taxa sind brack- aber nicht salzwassertolerant. Ein Süßwassereinfluss hätte den Salzgehalt im Sumpfgebiet reduziert und gleichzeitig die natürliche Hypoxie in der Bucht gefördert. Die große Entfernung zum Ablagerungsbereich und die vorgelagerten Seegraswiesen verhinderten womöglich einen Eintrag von fluviatilen Sedimenten.

Eine paläobiogeographische Analyse führte zu einer Einteilung der Fischfauna des Fischschiefers in südliche und nördliche Taxa. Hierbei sind solche Taxa selten, welche während des Rupeliums und auch heute typisch für nördliche Gewässer sind. Häufiger sind diejenigen, welche im Rupelium zu der nördlichen Fischfauna zählten, aber heute in südlichen Gewässern heimisch sind. Die meisten der Taxa der südlichen, rupelischen Fauna leben auch heute in den südlichen Meeren. Sowohl die Überlegung, dass Taxa aus dem Süden ins Rupelmeer eingewandert sind, als auch die Annahme, dass welche nach Süden abgewandert sind, erfordert zumindest zeitweise eine marine Verbindung zwischen dem Rupelmeer und der Paratethys.

Die paläogeographische Verbreitung des Riesenhais *Keasius* (Cetorhinidae) stellt eine Besonderheit dar. Seine Fossilien sind im gesamten Nord- und Rupelmeer verbreitet, fehlen aber in den Sedimenten der Paratethys. Eine marine Verbindung zwischen Paratethys und Rupelmeer muss

8. FAZIT

daher für diverse Knochenfischtaxa, wie z. B. Schnepfenfische (Centriscidae), passierbar gewesen sein, für Riesenhaie (Cetorhinidae) aber nicht. Möglicherweise haben nach Norden gerichtete Meeresströmungen den Transport von Plankton aus dem Rupelmeer in die Paratethys im größeren Umfang verhindert. Da Riesenhaie (Cetorhinidae) auf der Nahrungssuche nach Plankton diesen folgen, hätten sie keinen Grund gehabt, in die südlichen Gewässer vorzudringen. Dagegen erleichterten solche nordwärts gerichteten Meeresströmungen womöglich die Abwanderung von Fischarten aus der Paratethys in das Rupelmeer. Das Fehlen des südlichen Taxon *Aeoliscus* (Schnepfenmesserfisch, Centriscidae) in einigen Schichten der Tongrube Unterfeld deutet an, dass diese Verbindung auch zeitweise unterbrochen gewesen sein könnte.

Der Fischschiefer der Paläogen-Scholle „Wiesloch-Rot“ wurde wahrscheinlich in einer flachen Bucht oder Meeresbecken am östlichen Rand des Rupelmeeres abgelagert. Es wird aufgrund der vorliegenden Untersuchungen von einer Wassertiefe von weit weniger als 50 m ausgegangen. Durch einen Süßwassereinfluss kam es in der Bucht zu einer Sauerstoffstratifizierung der Wassersäule. Gelegentliche Algenblüten mit erhöhter Sauerstoffzehrung im Oberflächenwasser förderten diese Stratifizierung zusätzlich. Sauerstoffarmes, salzreiches Tiefenwasser lag unter dem sauerstoffreichen, salzarmen Oberflächenwasser. Auch wenn die anoxischen Tiefenwässer wahrscheinlich nur wenige 100 mm mächtig waren, war das sauerstoffreiche Oberflächenwasser nicht dauerhaft von Organismen besiedelt.

9. Referenzen

- AGAFONOVA, T.B., 1994: "Systematics and distribution of *Cubiceps* (Nomeidae) of the world ocean". *Journal of Ichthyology* **34** (5): 116-143.
- ALEXANDER, S. & FREY, E. 2010: "Zwei Meeresschildkröten (*Cheloniidae*) aus der Tongrube Unterfeld bei Rauenberg (Unteroligozän, Rupelium)". *Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* **17**: 73-105.
- ANDREAE, A. 1887: "Über Meeressand und *Septarienthon*". *Mitteilungen der Geologischen Landesanstalt Elsass-Lothringen* **1**: 83-92.
- ARTHUR, M.A. & SAGEMANN, B.B. 1994: "Marine black shales: Depositional mechanism and environment of ancient deposits". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **22**: 449-551.
- BANNIKOV, A.F. & PARIN, N.N. 1996: "The list of marine fishes from Cenozoic (Upper Palaeocene - Middle Miocene) Localities in Southern European Russia and adjacent countries". *Journal of Ichthyology* **37** (2): 133-146.
- BARTH, S. 1970: "Stratigraphie und Tektonik der Tertiärscholle von Rot-Malsch im Rheingraben". *Jahresberichte und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins* **52**: 71-95.
- BARTZ J. 1974: "Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben". In: ILLIES J.H., FUCHS K. (Hrsg.): "Approaches to taphrogenesis: Proceedings of an international Rift" Schweizerbart, Stuttgart: 78-87.
- BAUCHOT, M.-L. & HUREAU, J.-C. 1990: "Sparidae". In: QUERO, J.C., HUREAU, J.C., KARRER, C., POST, A. & SALDANHA, L. (Hrsg.): "Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)". JNICT, Lisbon; SEI, Paris; and UNESCO, Paris. Vol. **2**: 790-812.
- BENECKE, E. W. & COHAN, E. 1879: "Geognostische Beschreibung der Umgegend von Heidelberg". *Straßburg*: 499 S.
- BENTON, M.J. & PFRETZSCHNER, H.-U. 2007: "Paläontologie der Wirbeltiere". *Friedrich Pfeil-Verlag, München*: 472 S.
- BERGER, J.-P., REICHENBACHER, B., BECKER, D., GRIMM, M., GRIMM, K., PICOT, L., STORNI, A., PIRKENSEER, C. & SCHAEFER, A. 2005a: "Eocene-Pliocene time scale and stratigraphy of the Upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse Basin (SMB)". *International Journal of Earth Sciences* **94**: 711-731.
- BERGER, J.-P., REICHENBACHER, B., BECKER, D., GRIMM, M., GRIMM, K., PICOT, L., STORNI, A., PIRKENSEER, C. & SCHAEFER, A. 2005b: "Paleogeography of the Upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse Basin (SMB) from Eocene to Pliocene". *International Journal of Earth Sciences* **94**: 697-710.
- BETANCUR-R., R., BROUGHTON, R. E., WILEY, E. O., CARPENTER, K., LÓPEZ, J. A., LI, C., HOLCROFT, N. I., ARCILA, D., SANCANGCO, M., CURETON, J. C., ZHANG, F., BUSER, T., CAMPBELL, M.A., BALLESTEROS, J.A., ROA-VARON, A., WILLIS, S., BORDEN, W. C., ROWLEY, T., RENEAU, P. C., HOUGH, D. J., LU, G., GRANDE, T., ARRATIA, G., ORTÍ, G. 2013: "The Tree of Life and a New Classification of Bony Fishes" *PLOS Currents, Tree of Life*, Edition **1**.
- BEUTEL R.G. & LESCHEN R.A.B. 2005: "Handbuch der Zoologie, Band IV Arthropoda: Insecta, Teilband 38: Coleoptera, Beetles, Volume 1". *Walter de Gruyter Verlag; Berlin, New York*: 567 S.
- BOIGK, H. 1981: "Erdöl und Erdölgas in der Bundesrepublik Deutschland." *Enke-Verlag, Stuttgart*, 329 S.

9. REFERENZEN

- BÖCKER, J. & LITKE, R. 2014: "Source rock characterisation and thermal maturity of the Rupelian Fish Shale (Bodenheim Formation/Hochberg Subformation) in the central Upper Rhine Graben". *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* **165** (2): 247-274.
- BRAND, L.R., HUSSEY, M. & TAYLOR, J. 2003: "Taphonomy of Freshwater Turtles: Decay and Disarticulation in Controlled Experiments". *Journal of Taphonomy* **1** (4): 233-245.
- BRESINSKY, A., KÖRNER, C., KADEREIT, J.W., NEUHAUS, G. & SONNEWALD, U. 2008: "Straßburger - Lehrbuch der Botanik". Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 36. Auflage: 1176 S.
- BRETT, C.E. 1990: "Destructive taphonomic processes and skeletal durability". In: BRIGGS, D.E.G. & CROWTHER, P.R. (Hrsg.): "Palaeobiology. A Synthesis". Blackwell Science Publications, Oxford: 223-226.
- BRETT, C.E., DICK, V.B. & BAIRD, G.C. 1991: "Comparative taphonomy and palaeoecology of Middle Devonian dark grey and black shale facies from western New York". In: LANDING, E. & BRETT, C.E. (Hrsg.): "Dynamic stratigraphy and depositional environments of the Hamilton Group (Middle Devonian) in the New York state, Part II". New York State Museum, Bulletin **469**: 5-36.
- BROOKE, M. 2004: "Albatrosses and Petrels across the World". Oxford University Press: 449 S.
- BROMLEY, R.G. 1996: "Trace fossils – Biology and Taphonomy". Routledge: 280 S.
- BÜCHI, U. 1983: "Zur Frage der Meeresverbindung zwischen der alpinen Vorlandsenke und dem Rheintalgraben zur Zeit des Rupeliums". *Jahrbücher und Mitteilungen oberrheinisch-geologischen Vereinigung* **65**: 213–222.
- BUTZMANN, R., FISCHER, T.C. & RIEBER, E. 2009: "Makroflora aus dem inneralpinen Fächerdelta der Häring-Formation (Rupelium) vom Duxer Köpfl bei Kufstein/Unterinntal, Österreich". *Zitteliana, Serie A*, **48** (49): 129-163.
- COHEN, D.M., INADA, T., IWAMOTO, T. AND SCIALABBA, N. 1990: "FAO species catalogue. Vol. 10. Gadiform fishes of the world (Order Gadiformes). An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date". *FAO Fish Synopsis* **125** (10): 442 S.
- COLLETTE, B.B. & NAUEN, C.E. 1983: "FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the World. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date". *FAO Fish Synopsis* **125** (2): 137 S.
- COMPAGNO, L.J.V. 1984a: "FAO Species Catalogue. Vol. 4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1 – Hexanchiformes to Lamniformes". *FAO Fish Synopsis* **125** (4/1): 249 S.
- COMPAGNO, L.J.V. 1984b: "FAO Species Catalogue. Vol. 4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2 – Carcharhiniformes". *FAO Fish Synopsis* **125** (4/2): 251-655.
- COOPER, J.A. & CHAPLEAU, F. 1998: "Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification". *Fish Bulletin* **96** (4): 686-726.
- COSTA, E., GARCÉS, M., SÁEZ, A., CABRERA, L., & LÓPEZ-BLANCO, M. 2011: "The age of the "Grande Coupure" mammal turnover: New constraints from the Eocene–Oligocene record of the Eastern Ebro Basin (NE Spain)". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **301** (1): 97-107.
- CRAMER, M.D. & HAWKINS, H.J. 2009: "A physiological mechanism for the formation of root casts". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **361**: 159-197.

- DARROCH, S.A.F., LOCATELLI, E.R., MCCOY, V.E., CLARK, E.C., ANDERSON, R.P., TARHAN, L.G. & HULL, P.M. 2016: "*Taphonomic disparity in foraminifera as a paleo-indicator for seagrass*". *Palaios* **31**: 242-258.
- DAWSON, C.E., 1986: "*Syngnathidae*". In: WHITEHEAD, P.J.P., BAUCHOT, M.-L., HUREAU, J.-C., NIELSEN, J. & TORTONESE, E. (Hrsg.): "*Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*". Volume **2**. UNESCO, Paris: 628-639.
- DEN HARTOG, C. 1970: "*Seagrasses of the World*". Verhandlungen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Natuurkunde **59** (1): 275 S.
- DE PIETRI, V.L., BERGER, J.-P., PIRKENSEER, C., SCHERLER, L. & MAYR, G. 2010: "*New skeleton from the early Oligocene of Germany indicates a stem-group position of diomedeoidid birds*". *Acta Palaeontologica Polonica* **55** (1): 23-34.
- DÈZES, P., SCHMID, S.M. & ZIEGLER, P.A. 2004: "*Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere*". *Tectonophysics* **389**: 1-33.
- DODD, J.R. & STANTON, R.J. 1990: "*Paleoecology, Concepts and Applications*". 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York: 528 S.
- DOEBL, F. 1958: "*Stratigraphische und paläogeographische Ergebnisse neuerer mikropaläontologischer Untersuchungen im Tertiär des Rheintal-Grabens*". *Erdöl und Kohle* **11**: 373-376.
- DOEBL, F. 1967: "*The Tertiary and Pleistocene sediments of the northern and central part of the Upper Rhinegraben*". *Abhandlungen des geologischen Landesamt Baden-Württemberg* **6**: 48-54.
- DOEBL, F. 1976: "*Tertiär im mittleren Rheingraben (Baden-Pfalz)*". Exkursionsführer der 46. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft: D1-D25. Karlsruhe.
- DOEBL, F. & TEICHMÜLLER, R. 1979: "*Zur Geologie und heutigen Geothermik im mittleren Oberrhein-Graben*". *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen* **27**: 1-17.
- DRANSFIELD, J., UHL, N. W., ASMUSSEN, C. B., BAKER, W. J., HARLEY, M. M., LEWIS, C. E. 2008: "*Genera Palmarum. The Evolution and Classification of Palms*". Zweite Auflage, Royal Botanic Gardens, Kew: 76 S.
- DURINGER, P. 1998: "*Dynamics of graben shoulder fan-deltas and rift lakes – the example of the upper Rhine Graben (Lower Tertiary, eastern France, southwestern Germany)*". *Gaea Heidelberg* **4**: 159-168.
- ELLWANGER, D., GABRIEL, G., SIMON, T., WIELANDT-SCHUSTER, U., GREILING, R.O., HAGEDORN, E.-M., HAHNE, J. & HEINZ, J. 2008: "*Long sequence of Quaternary rocks in the Heidelberg basin depocentre*". *Quaternary Science Journal* **57** (3-4): 316-337.
- ETTER, W. 1994: "*Palökologie - eine methodische Einführung*". Basel, Boston, Berlin. Birkhäuser: 294 S.
- FORNOS, J.J. & AHR, W.M. 1997: "*Temperate carbonates on a modern, low-energy, isolated ramp: the Balearic Platform, Spain*". *Journal of Sedimentary Research* **67**: 364-373.
- FREY, E., MUNK, W., BÖHME, M., MORLO, M. & HENSEL, M. 2010: "*First creodont carnivore from the Rupelian Clays (Oligocene) of the Clay Pit Unterfeld at Rauenberg (Rhein-Neckar-Kreis, Baden-Württemberg): Apterodon rauenbergensis*". *Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* **17**: 107-113.
- FRITZSCHE, R.A., 1984: "*Aulostomidae*". In: FISCHER, W. & BIANCHI, G. (Hrsg.): "*FAO species identification sheets for fishery purposes*". Western Indian Ocean Fishing Area **51**, Vol. 1.
- FÜCHTBAUER, H. 1988: "*Sedimente und Sedimentgesteine*". Schweizerbart, Stuttgart: 1141 S.

9. REFERENZEN

- GAEMERS, P.A.M. 1976: "New Gadiform Otoliths from the Tertiary of the North Sea Basin and a revision of some fossil and recent species". Leidse Geologische Mededelingen **49** (3): 507 - 537.
- GAEMERS, P.A.M. & VAN HINSBERGH, V.W.M. 1978: "Rupelian (Middle Oligocene) fish otoliths from the clay pit "De Vliet" near Winterswijk, The Netherlands". Scripta Geologica **46**: 1-177.
- GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. 2011: "Geologie von Baden-Württemberg". 5. Auflage, Stuttgart (Schweizbart): 627 S.
- GIAMBONI, M., WETZEL, A. & SCHUMACHER, M. 2003: "Plio-Pleistocene folding in the southern Rhinegraben recorded by the evolution of the drainage network". Eclogae Geologicae Helveticae **97**: 17-31.
- GRIMM, K.I. 1991: "Biostratigraphie, Paläogeographie und Paläökologie des Fischschiefers (Mittlerer Rupelton/Mitteloligozän) im Mainzer Becken". Mainzer geowissenschaftliche Abhandlungen **20**: 249-278.
- GRIMM, K.I. 1994: "Paläoökologie, Paläogeographie und Stratigraphie im Mainzer Becken, im Oberrheingraben, in der Hessischen Senke und in der Leipziger Bucht während des Mittleren Rupeltons (Fischschiefer/Rupelium/Unteroligozän)". Mitteilungen der Pollichia **81**: 7-193.
- GRIMM, K.I. 2002: "Foraminiferal zonation of early Oligocene deposits (Selztal Group, Latdorfian, Rupelian) in the Mainz Basin (Germany)". Journal of Micropalaeontology **21**: 67-74.
- GRIMM, K.I. 2005: "Beiträge zur Lithostratigraphie des Paläogens und Neogens im Oberrheingebiet (Oberrheingraben, Mainzer Becken, Hanauer Becken)". Geologisches Jahrbuch Hessen **132**: 79-112.
- GRIMM, K.I. 2006: "Meeresverbindungen im Rupelium Mitteleuropas – Paläobiographische Untersuchungen anhand von Foraminiferen". Geologisches Jahrbuch Hessen **133**: 19-27.
- GRIMM, K.I., GRIMM, M.C. & SCHINDLER, T. 1999: "Der Meeressand (Rupelium, Oligozän) der Sandgrube „Faber“ bei Siefersheim in Rheinhessen (Mainzer Becken)". Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen **28**: 7-32.
- GRIMM, K.I., GRIMM, & SCHINDLER, T. 2000: "Lithostratigraphische Gliederung im Rupelium/Chattium des Mainzer Beckens". Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen **218** (3): 343-397.
- GRIMM, K.I., GRIMM, M.C., KÖTHE, A. & SCHINDLER, T. 2002: "Der „Rupelton“ (Rupelium, Oligozän) der Tongrube Bott-Eder bei Rauenberg (Oberrheingraben, Deutschland)". Courier Forschungs-Institut Senckenberg **237**: 229-253.
- GRIMM, K.I. & GRIMM, M.C. 2003: "Geologischer Führer durch das Mainzer Tertiärbecken". in: GRIMM, K.I., GRIMM, M.C., NEUFFER, O. & LUTZ, H. (Hrsg.): "Die fossilen Wirbellosen des Mainzer Tertiärbeckens". Mainzer Naturwissenschaftliches Archiv **26**: 1-158.
- GRIMM, K.I., RADTKE, G., KÖTHE, A., REICHENBACHER, B., SCHWARZ, J. MARTINI, E., KADOLSKY, D., HOTTENROTT, M. & FRANZEU, J.L. 2011: "Stratigraphie von Deutschland IX; Tertiär, Teil 1: Oberrheingraben und benachbarte Tertiärgebiete". Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften: 43-56.
- HARDENBOL, J., THIERRY, J., FARLEY, M.B., JACQUIN, T., GRACIANSKY, P.-C. & VAIL, P.R. 1998: "Cenozoic sequence chronostratigraphy". In: GRACIANSKY, P.-C., HARDENBOL, J., JACQUIN, T. & VAIL, P.R. (Hrsg.): "Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basin". SEPM Special Publication **60**: Chart 2
- HEMMINGA, M.A. & DUARTE, C.M 2000: "Seagrass ecology". Cambridge University Press: 298 S.

- HILDEBRANDT, L. 1985: "Geologie und Genese der Wieslocher Lagerstätte". Lapis **12**: 13-14.
- HILDEBRANDT, L. 2012: "Eine Wanderung durch den südlichen Teil der Flur von Frauenweiler". 75 Jahre Frauenweiler, Hrsg. Stadtteilverein Frauenweiler: 71-79.
- HOLMES, S.P. & MÜLLER, N. 2006: "The hypoxic tolerance of the protobranch bivalve *Nucula sulcata* BRONN". Journal of Shellfish Research **25** (3): 865-867.
- HOOKE, J.J., COLLINSON, M.E., SILLE, N.P. 2004: "Eocene-Oligocene mammalian faunal turnover in the Hampshire Basin, UK: calibration to the global time scale and the major cooling event". Journal of the Geological Society **161**: 161.
- HOSELMANN, C. 2008: "The Pliocene and Pleistocene fluvial evolution in the northern Upper Rhine Graben based on results of the research borehole at Viernheim (Hessen, Germany)". Quaternary Science Journal **57** (3-4): 186-315.
- HOVESTADT, D.C. & HOVESTADT-EULER, T. 1994: "Additions to the fauna of the Boom Clay Formation of Belgium (Rupelian, Oligocene). Taxonomic adjustments on the Scyliorhinidae and Rajidae, discovery of a dasyatid species (Pisces, Chondrichthyes) and of a curculionid species (Insecta, Coleoptera)". Belgian Geological Survey. Professional Paper **278**: Elasmobranches et Stratigraphie: 261-282.
- HOVESTADT, D.C. & HOVESTADT-EULER, T. 2012: "The remains of a carcharhinid shark with a new triakid species in its digestive tract from the Oligocene of Germany". Tertiary Research **21** (1-4): 171-182.
- HOVESTADT, D.C. & HOVESTADT-EULER, T. 2010: "A partial skeleton of *Carcharias gustrowensis* (Winkler, 1975) (Chondrichthyes, Odontaspidae) including embryos, a chimaeroid dorsal fin spine and a myliobatoid tail spine from the Oligocene of Germany". Cenozoic Research **7** (1-2): 83-97.
- HOVESTADT, D.C. & HOVESTADT-EULER, T. 2012: "A partial skeleton of *Cetorhinus parvus* Leriche, 1910 (Chondrichthyes, Cetorhinidae) from the Oligocene of Germany". Paläontologische Zeitschrift **86**: 71-83.
- HOVESTADT, D.C., HOVESTADT-EULER, T. & MICKLICH, N. 2010: "A review of the chondrichthyan fauna of Grube Unterfeld (Frauenweiler) clay pit". Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte **17**: 57-71.
- IFRIM, C., FREY, E., STINNESBECK, W., BUCHY, M.-C., GONZÁLEZ GONZÁLEZ, A.H. & LÓPEZ OLIVA, J.G. 2005: "The fish assemblage in Early Turonian Carbonates at Vallecillo, N.L., México". Paleos Antiquo **1**: 43-51.
- JAMES, P.S.B.R. 1984: "Leiognathidae". In: FISCHER, W. & BIANCHI, G. (Hrsg.): "FAO species identification sheets for fishery purposes. Western Indian Ocean (Fishing Area 51)". Vol. 2.
- JÖRG, E. 1951: "Die tertiären Sedimente des Limbergs bei Sasbach am Kaiserstuhl". Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie: 289-304.
- KHALAF, M.A. & KRUPP, F. 2008: "A new species of the genus *Symphysanodon* (Perciformes: Symphysanodontidae) from the Gulf of Aqaba, Red Sea". aqua - International Journal of Ichthyology **14** (2): 85 - 88.
- KAISER, T.M. & MICKLICH, N. 1995: "Schnellumbettung von Messel-Fossilien zum Erstellen eines osteologischen Kataloges". Der Präparator **41** (2): 69-72.
- KOVAR-EDER, J. 2016: "Early Oligocene plant diversity along the Upper Rhine Graben: The fossil flora of Rauenberg, Germany". Acta Palaeobotanica **56** (2): 329-440.

9. REFERENZEN

- KUITER, R. H. 2001: "*Seepferdchen, Seenadeln, Fetzenfische und ihre Verwandte: Syngnathiformes*". Ulmer Verlag: 242 S.
- KUNZMANN, L. & WALTHER, H. 2002: "*Eine obereozäne Blätterflora aus dem mitteldeutschen Weißelster-Becken*". Paläontologische Zeitschrift **76** (2): 261-282.
- KVAČEK, Z. 2004: "*Revisions to the Early Oligocene flora of Flörsheim (Mainz Basin, Germany) based on epidermal anatomy*". Senckenbergiana lethaea **84** (1/2): 1-73.
- KVAČEK, Z., MANCHESTER S. R., & SHORN H. E. 2000: "*Cones, seeds, and foliage of Tetraclinis salicornioides (Cupressaceae) from the Oligocene and Miocene of western North America: a geographic extension of the European Tertiary species*". International Journal of Plant Sciences **161** (2): 331-344.
- KVAČEK, Z. & WALTHER, H. 2001: "*The Oligocene of Central Europe and the development of forest vegetation in space and time based on megafossils*". Palaeontographica B **259**: 125-148.
- KUNZMANN, L. & WALTHER, H. 2012: "*Early Oligocene plant taphocoenoses of the Haselbach megafloral complex and the reconstruction of palaeovegetation*". Palaeobiology, Palaeoenvironment **92**: 295-307.
- LANGER, M.R. 1993: "*Epiphytic foraminifera*". Micropaleontology: **20**: 235-265.
- LARSSON, M., VAJDA, V. & DYBKJÆR, K. 2010: "*Vegetation and climate in the latest Oligocene-earliest Miocene in Jylland, Denmark*". Review of Palaeobotany and Palynology **159**: 166-176.
- LAST, P. & STEVENS, J. 1994: "*Sharks and rays of Australia*". Commonwealth Scientific and industrial Research Organisation, Australia: 513 S.
- LAWRENCE E. 1999: "*Henderson's Dictionary of biological terms*". London: Longman Group Ltd.: 736 S.
- LEOPOLD, M. 1991: "*Sedimentologische Untersuchungen an Tertiärsedimenten der Randfazies im Mittleren Oberrheingraben*". Karlsruhe (Unveröffentlichtliches Manuskript).
- LITKE, R., BAKER, D.R., LEYTHAEUSER, D. & RULLKÖTTER, J. 1991: "*Keys to the depositional history of the Posidonia Shale (Toarcian) in the Hills Syncline, northern Germany*". Geological Society, London, Special Publications **58** (1): 311-333.
- LOURENS, L., HILGEN, F., SHACKLETON, N.J., LASKAR, J. & WILDON, D. 2004: "*The Neogene Period*". In: GRADSTEIN, F., OGG, J. & SMITH, A. (Hrsg.): "*A Geologic Time Scale*". Cambridge University Press: 409-440.
- LORENZ, G. D. 2002: "*Diagenese der känozoischen Sedimente des Oberrheingrabens als Hinweis der tertiären Fluidentwicklung*". Dissertation.
- LUMPERT, S.H., DEN HARTOG, C, PHILLIPS, R.C. & OLSEN, F.S. 1984: "*The occurrence of fossil seagrasses in the Avon Park Formation (Late Middle Eocene), Levy County, Florida (USA)*". Aquatic Botany **20**: 121-129.
- LÜNING, K. YARISH, C. & KIRKMANN, H. 1990: "*Seaweeds - Their Environment, Biogeography und Ecophysiology*". John Wiley and sons: 527 S.
- LUTERBACHER, H.P., ALI, J.P., BINKHUIS, H., GRADSTEIN, F.M., HOOKER, J.J., MONECHI, S., OGG, J.G., POWELL, J., RÖHL, U., SANFILIPPO, A. & SCHMITZ, B. 2004: "*The Palogene Period*". In: GRADSTEIN, F., OGG, J. & SMITH, A. (Hrsg.): "*A Geologic Time Scale*". Cambridge University Press: 384-408.

- MARTILL, D.M. 1993: "Soupy substrates: a medium for the exceptional preservation of ichthyosaurs of the Posidonia Shale (Lower Jurassic) of Germany". *Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* **2**: 77-97.
- MARTINI, E. & MÜLLER, C. 1971: „Das marine Alttertiär in Deutschland und sein Einordnung in die Standard-Nannoplankton-Zonen“. *Erdöl und Kohle* **24**: 381-384.
- MAXWELL, E., ALEXANDER, S., BECHLY, G., ECK, K., FREY, E., GRIMM, K., KOVAR-EDER, J., MAYR, G., MICKLICH, N., RASSER, M., ROTH-NEBELSICK, A., SALVADOR, R.B., SCHOCH, R.R., SCHWEIGERT, G., STINNESBECK, W., WOLF-SCHWENNINGER, K., ZIEGLER, R. 2016: "The Rauenberg fossil Lagerstätte (Baden-Württemberg, Germany): a window into early Oligocene marine and coastal ecosystems of Central Europe". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **463**: 238-260.
- MAYR, G. 2000: "A new mousebird (Coliiformes: Coliidae) from the Oligocene of Germany". *Journal of Ornithology* **141**: 85-92.
- MAYR, G. 2004a: "A partial skeleton of a new fossil loon (Aves, Gaviiformes) from the early Oligocene of Germany with preserved stomach content". *Journal of Ornithology* **145**: 281-286.
- MAYR, G. 2004b: "Old World fossil record of modern-type hummingbirds". *Science* **304**: 861.
- MAYR, G. 2005: "A tiny barbet-like bird from the Lower Oligocene of Germany: The smallest species and earliest substantial fossil record of the pici (Woodpeckers and allies)". *Science* **304**: 861.
- MAYR, G. & KNOPF, C.W. 2007a: "A stem lineage representative of buttonquails from the Lower Oligocene of Germany - fossil evidence for a charadriiform origin of the Turnicidae". *Ibis* **149**: 774-782.
- MAYR, G. & MANEGOLD, A. 2006: "New specimens of the earliest European passeriform bird". *Acta Palaeontologica Polonica* **51** (2): 315-323.
- MAYR, G. & KNOPF, C.W. 2007b: "A tody (Alcediniformes: Todidae) from the Early Oligocene of Germany". *The Auk* **124** (4): 1294-1304.
- MAYR, G., PETERS, D.S. & RIETSCHER, S. 2002: "Petrel-like birds with a peculiar foot morphology from the Oligocene of Germany and Belgium (Aves: Procellariiformes)". *Journal of Vertebrate Palaeontology* **22** (3): 667-676.
- MICKLICH, N. 1998: "New informations on the Frauenweiler fossil site". *Italian Journal of Zoology* **65**: 169-184.
- MICKLICH, N. 2005: "The fish fauna of Frauenweiler clay pit and its bearing on the palaeoenvironmental reconstructions". *Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* **14**: 85.
- MICKLICH, N. & HILDEBRANDT, L. 2005: "The Frauenweiler clay pit („Grube Unterfeld“)". *Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* **14**: 113-118.
- MICKLICH, N. & HILDEBRANDT, L. 2010: "Emergency excavation in the Grube Unterfeld (Frauenweiler) clay pit (Oligocene, Rupelian; Baden-Württemberg, S-Germany): New records and paleoenvironmental information". *Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* **17**: 3-21.
- MICKLICH, N. & PARIN, N. 1996: "The fishfauna of Frauenweiler (Middle Oligocene, Rupelian; Germany): First results of a review". *Publicaciones Especiales de Instituto Español de Oceanografía* **21**: 129-148.
- MICKLICH, N., TYLER, J.C., JOHNSON, G.D., SWIDNICKA, E., BANNIKOV, A.F. 2009: "First fossil record of the tholichthys larval stage of butterfly fishes (Perciformes, Chaetodontidae), from the Oligocene of Europe". *Paläontologische Zeitschrift* **83**: 479-497.

9. REFERENZEN

- MICKLICH, N., GREGOROVÁ, R., BANNIKOV, A.F., BACIU, D-S., GRĂDIANU, I., CARNEVALE, G. 2016: "Oligoremora rhenana n. g. n. sp., a new echeneid fish (Percomorpha, Echeneoidei) from the Oligocene of the Grube Unterfeld ("Frauenweiler") clay pit". *Paläontologische Zeitschrift* **90**: 561-592.
- MICLAUS, C., LAIACONO, F., MORETTI, E., PUGLISI, D., KOLTUN, Y.V. 2007: „A petro-sedimentary record of Eocene-Oligocene Palaeogeographic changes connected with the separation of the Central Paratethys (Romanian and Ukrainian Carpathians)“. Second International Conference on the Geology of the Tethys, Cairo University, March 2007.
- MOLENKAMP, M. 2015: "Lebensraum Seegraswiesen - Heimat für Anpassungsspezialisten". *Biologie unserer Zeit* **45**: 106 - 112.
- MONNINGER, S. & FREY, E. 2010: "Die unteroligozäne Insektentaphonozönose am Fuße des Kraichgaus (Baden-Württemberg)". *Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* **17**: 23-55.
- MUNDY, B.C., 2005: "Checklist of the fishes of the Hawaiian Archipelago". *Bishop Museum Bulletin of Zoology* **6**: 1-704.
- MURRAY, J.W. 2014: "Ecology & Palaeoecology of Benthic Foraminifers". Routledge, New York: 297 S.
- MYERS, R.F. 1991: "Micronesian reef fishes". Second Edition Coral Graphics, Barrigada: 298 S.
- NAKAMURA, I., 1985: "FAO species catalogue. Vol. 5. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date". *FAO Fish Synopsis* **125** (5): 65 S.
- NAKAMURA, I. & PARIN, N.V. 1993: "Snake mackerels and cutlassfishes of the world (families Gempylidae and Trichiuridae). An annotated and illustrated catalogue of the snake mackerels, snoeks, escolar, gemfishes, sackfishes, domine, oilfish, cutlassfishes, scabbardfishes, hairtails and frostfishes known to date" *FAO Species Catalogue* **15**: 136 S.
- NIELSEN, J.G., COHEN, D.M., MARKLE, D.F. & ROBINS, C.R. 1999: "Ophidiiform fishes of the world (Order Ophidiiformes). An annotated and illustrated catalogue of pearlfishes, cusk-eels, brotulas and other ophidiiform fishes known to date". *FAO Fish Synopsis* **125** (18): 178 S.
- PARIN, N. & ASTAKHOV, D.A. 2007: "New fossil fish *Musculopedunculus micklichi* (Trichiuroidei) from the Lower Oligocene of Germany". *Journal of Ichthyology* **47** (8): 547-554.
- PAXTON, J.R., HOESE, D.F., ALLEN, G.R. & HANLEY, J.E. 1989: "Pisces. Petromyzontidae to Carangidae". *Zoological Catalogue of Australia*, Vol. 7. Australian Government Publishing Service, Canberra: 665 S.
- PHARISAT, A. 1998: "Marine fish biodiversity in the Oligocene of Froidefontaine (Belfort Territory France)". *Italian Journal of Zoology* **65**: 189-191.
- PHARISAT, A. & MICKLICH, N. 1998: "Oligocene fishes in the western Paratethys of the Rhine Valley Rift System". *Italian Journal of Zoology* **65**: 163-168.
- POTTER, P.E., MAYNARD, J.B. & PRYOR, W.A. 1980: "Sedimentology of Shale – Study Guide and Reference Source". Springer-Verlag: 303 S.
- PREMOLI-SILVA, I. & JENKINS, D.G. 1993: "Decision on the Eocene-Oligocene boundary stratotype". *Episodes* **16** (3): 379-382.
- PROKOFIEV, A.M. 2011: "Oligocene Eel from the Frauenweiler Site (Germany)". *Journal of Ichthyology* **52** (1): 11-18.

- QUÉRO, J.-C., 1986: "*Caproidae*". In: WHITEHEAD, P.J.P., BAUCHOT, M.-L., HUREAU, J.-C., NIELSEN, J. & TORTONESE, E. (Hrsg.): "*Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean*". UNESCO, Paris. Vol. 2: 777-779.
- RABOUILLE, C., CONLEY, D.J., DAI, M.H., CAI, W.-J., CHEN, C.T.A., LANSARD, B., GREEN, R., YIN, K., HARRISON, P.J., DAGG, M. & MCKEE, B. 2008: "*Comparison of hypoxia among four river-dominated ocean margins: The Changjiang (Yangtze), Mississippi, Pearl, and Rhône rivers*". *Continental Shelf Research* **28**: 1527-1537.
- RASSER, M. W., HARZHAUSER, M., ANISTRATENKO, O. Y., ANISTRATENKO, V. V., BASSI, D., BELAK, M., BERGER, J.-P., BIANCHINI, G., CICIC, S., COSOVIC, V., DOLAKOVA, N., DROBNE, K., FILIPESCU, S., GÜRS, K., HLADILOVA, S., HRVATOVIC, H., JELEN, B., KASINSKI, J.R., KOVAC, M., KRALJ, P., MARJANAC, T., MARTON, E., MIETTO, PL, MORO, A., NAGYMAROSY, A., NEBELSICK, J.H., NEHYBA, S., OGORELEC, B., OSZCZYPKO, N., PAVELIC, D., PAVLOVEC, R., PAVSIC, J., PETROVA, PL, PIWOCKI, M., POLJAK, M., PUGLIESE, N., REDZEPOVIC, R., RIFELJ, H., ROETZEL, R., SKABERNE, D., SLIVA, L., STANKE, G., TUNIS, G., VASS, D., WAGREICH, M. & WESSELINGH, F. 2008: "*Palaeogene and Neogene*". In: MCCANN, T. (Hrsg.): "*The Geology of Central Europe, Mesozoic and Cenozoic, Vol. 2*". Geological Society, London: 1031-1139.
- REICH, S., MARTINO, E.D., TODD, J.A., WESSELINGH, F.P., RENEMA, W. 2015: "*Indirect paleo-seagrass indicators (IPSIs): A review*". *Earth-Science Reviews* **143**: 161-186.
- REISDORF, A.G., BUX, R. WYLER, D., BENECKE, M. KLUG, CHRISTIAN, MAISCH, M.W., FORMARO, P., WETZEL, A. 2012: "*Float, explode or sink: postmortem fate of lung-breathing marine vertebrates*". *Palaeobiology, Palaeoenvironment* **92**: 67-81.
- REUSS, A.E. 1853: "*Über einige Foraminiferen, Bryozoen und Entomostracen des Mainzer Beckens*". *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Petrefaktenkunde* **1853**: 670-697.
- RIVELINE, J. BERGER, J.-P., FEIST, M., MARTIN-CLOSAS, C., SCHUDACK, M. & SOULIÉ-MÄRSCH, I. 1996: "*European Mesozoic-Cenozoic charophyte biozonation*". *Bulletin-Société Géologique De France* **167** (3): 453-468.
- ROBINS, C.R. & RAY, G.C. 1986: "*A field guide to Atlantic coast fishes of North America*". Houghton Mifflin Company, Boston, U.S.A: 354 S.
- ROTHAUSEN, K. & SONNE, V. 1984: "*Mainzer Becken*". *Sammlung geologischer Führer* **79**, Borntraeger, Berlin, Stuttgart: 203 S.
- ROZAN, T.F., TAILLEFERT, M., TROUWBORST, R.E., GLAZER, B.T. & MA, S. 2002: "*Iron-sulfur-phosphorus cycling in the sediments of a shallow coastal bay: Implications for sediment nutrient release and benthic macroalgal blooms*". *Limnology & Oceanography* **37** (5): 1346-1354.
- SAKAMOTO, K., UYENO, T. & MICKLICH, N. 2003a: "*Oligoscophthalmus weissii gen. et sp. nov., an Oligocene Scophthalmid Flatfish from Frauenweiler, S-Germany*". *Bulletin of the National Science Museum* **C29**: 25-32.
- SAKAMOTO, K., UYENO, T. & MICKLICH, N. 2003b: "*Oligopleuronectes germanicus gen. et sp. nov., an Oligocene Scophthalmid Flatfish from Frauenweiler, S-Germany*". *Bulletin of the National Science Museum* **C30**: 89-94.
- SAUER, A. 1898: "*Geologische Spezialkarte des Großherzogtums Baden. Erläuterungen zu Blatt Neckargemünd (Nr. 32)*". Heidelberg (Carl Winters Universitätsbuchhandlung): 110 S.
- SAVRDA, C.E. & BOTTJER, D.J. 1989: "*Anatomy and Implications of Bioturbated Beds in "Black Shale" Sequences: Exemples from the Jurassic Posidonienschiefer (Southern Germany)*". *Palaios* **4** (4): 330-342.

9. REFERENZEN

- SCHAD, A. 1965: "Abtragungserscheinungen an der Grenze Jungtertiär I/Jungtertiär II im Inneren des mittleren Rheingrabens". Senckenberg **46a**: 363-378.
- SCHEIHING, M.H. & PFEFFERKORN, H.W. 1984: "The taphonomy of land plants in the Orinoco Delta: A model for the incorporation of plant parts in clastic sediments of late Carboniferous age of Euramerica". Review of palaeobotany and Palynology **41**: 205-240.
- SCHINDLER, T., NUNGESSER, K., MÜLLER, A. & GRIMM, K.I. 2009: "Die Alzey-Formation der klassischen Lokalität Welschberg bei Waldböckelheim (Rupelium, Oligozän, Mainzer Becken) – Ergebnisse neuer Grabungen". Jahresberichte und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins **91**: 37-87.
- SCHNAEBELE, R. 1948: "Monographie géologique du champ pétrolifère de Pechelbronn". Serv. de la Carte géol. d'Alsace et de Lorraine: 354 S.
- SCHÖGGL, H. & MICKLICH, N. 2010: "Eine Seekuh aus dem Rupelton der Tongrube Unterfeld". Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte **18**: 81-87.
- SCHWARZ, M. 2005: "Evolution und Struktur des Oberrheingrabens - quantitative Einblicke mit Hilfe dreidimensionaler thermomechanischer Modellrechnung". Dissertation.
- SCHWEIZER, V. 1982: "Kraichgau und südlicher Odenwald". Sammlung geologischer Führer **72**, Stuttgart: 203 S.
- SCHWENKE, H. 1969: "Meeresbotanische Untersuchungen in der westlichen Ostsee als Beitrag zu einer marinen Vegetationskunde". International Review of Hydrobiologie **54** (1): 35-94.
- SELLNER, K.G., DOUCETTE, G.J. & KIRKPATRICK, G.J. 2003: "Harmful algal blooms: causes, impacts and detection". Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology **30** (7): 383-406.
- SIMES, C.E. & SALISBURY, S.W. 2014: "Patterns of aquatic decay and disarticulation in juvenile Indo-Pacific crocodiles (*Crocodylus porosus*), and implications for the taphonomic interpretation of fossil crocodyliiform material". Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **412**: 108-123.
- SITTLER, C. 1992: "Illustration de l'histoire géologique du fossé rhénan et de l'Alsace". Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie **186**: 255-282.
- SISSINGH, W. 1998: "Comparative Tertiary stratigraphy of the Rhine Graben, Bresse Graben and Molasse Basin: correlation of Alpine foreland events". Tectonophysics **300**: 249-284.
- SISSINGH, W. 2003: "Tertiary paleogeographic and tectonostratigraphic evolution of the Renish Triple Junction". Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology **196**: 229-263.
- SPANDEL, E. 1909: "Der Rupelton des Mainzer Beckens, seine Abteilungen und deren Foraminiferenfauna, sowie einige weitere geologisch-paläontologische Mitteilungen über das Mainzer Becken". Berichte des Offenbacher Vereins für Naturkunde **43-50**: 57-230.
- SPICER, R.A. 1991: "Plant taphonomic processes". In: ALLISON, P.A. & BRIGGS, D.E.G. (Hrsg): "Taphonomy: Releasing the data locked in the fossil record". Plenum Press, New York.
- STANLEY, S.M. 2001: "Historische Geologie". Heridelberg, Berlin: Spektrum, Akademischer Verlag: 710 S.
- STARNES, W.C., 1988: "Revision, phylogeny and biogeographic comments on the circumtropical marine percoid fish family Priacanthidae". Bulletin of Marine Science **43** (2): 117-203.
- STILLE, H. 1925: "Rheinische Gebirgsbildung im Kristianiagebiet und in Westdeutschland". Abhandlung der preußischen geologischen Landesanstalt **95**: 110-132.

- STOLTZ, K. 1906: "Beitrag zur Kenntnis des Septarientons von Wonsheim in Rheinhessen". Zentralblatt für Mineralogie **21**: 656-661.
- STORCH, V. & WELSCH, U. 2003: "Systematische Zoologie". Spektrum Akademischer Verlag. 6. Auflage: 854 S.
- TAVERNE, L., VAN SIMAEYS, S. & STEURBAUT, E. 2006: "Belgocaranx luypaertsi gen. and sp. nov., a new skeleton-based carangid fish from the Boom Clay (Rupelian, Early Oligocene) at Kallo (N. Belgium)". Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terra **76**: 119-130.
- THÜRACH, H. & HERRMANN, A. 1903: "Über das Tertiär bei Wiesloch und seine Foraminiferenfauna". Mitteilungen der Badischen geologischen Landesanstalt **IV**: 525-548.
- TRUNKÓ, L. & MUNK, W. 1998: "Geologische Beobachtungen in drei tertiären Aufschlusskomplexen im Randbereich des Mittleren Rheingrabens". Coraolinea **56**: 9-28.
- USTASZEWSKI, K., SCHUMACHER, M.E. & SCHMIDT, S.M. 2005: "Simultaneous normal faulting and extensional flexuring during rifting: an example from the southernmost Upper Rhine Graben". International Journal of Earth Sciences **94**: 680-696.
- VAN DEN BOSCH, M. 1984a: "Oligocene to recent Cetorhinidae (Vertebrata, Basking sharks); Problematical finds of teeth, dermal scales and gill rakers". Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie **21** (4): 205-232.
- VAN DEN BOSCH, M. 1984b: "Lithostratigraphy of the Brinkheurne Formation (Oligocene, Rupelian) in the Eastern Part of the Netherlands". Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie **21** (2): 93-113.
- VAN SIMAEYS, S. & VANDENBERGHE, N. 2006: "Rupelian". Geologica Belgica **9** (1-2): 95-101.
- VAN SIMAEYS, S., DE MAN, E., VANDENBERGHE, N., BRINKHUIS, H. & STEURBAUT, E. 2004: "Stratigraphic and palaeoenvironmental analysis of the Rupelian-Chattian transition in the type region: evidence from dinoflagellate cysts, foraminifera and calcareous nannofossils". Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **208**: 31-58.
- VOSS, M. & HAMPE, O. 2017: "Evidence for two sympatric sirenian species (Mammalia, Tethytheria) in the early Oligocene of Central Europe". Journal of Paleontology **91**(2):337-367.
- WAGNER-KLETT, W. 1919: "Das Tertiär von Wiesloch in Baden, ein Beitrag zu seiner tektonischen, stratigraphischen und palaeontologischen Kenntnis". Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins: 73 - 118.
- WAGNER, W. 1925: "Wo und wann trat das Tertiärmeer zum ersten Mal in die Rheintalsenke ein? (Unter der Berücksichtigung der Frage der Entstehung der Kalisalzlager im Rheintal)". Notizblock des Vereins zur Erdkunde der hessischen und geologischen Landesanstalt **7**: 56-89.
- WAPPLER, T. 2003: "Systematik, Phylogenie, Taphonomie und Paläoökologie der Insekten aus dem Mittel-Eozän des Eckfelder Maars, Vulkaneifel". Dissertation.
- WEBER, H. 1951: "Mikropaläontologische Untersuchungen im Tertiär des Rheintalrandes bei Wiesloch, Baden". Erdöl und Kohle, **4** (9): 543-549.
- WEILER, W. 1952: "Die Verbindung des mitteloligozänen Rheintalgrabens mit dem Mittelmeer". Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, Neue Folge **34**: 21-29.

9. REFERENZEN

- WEILER, W. 1956: "*Die Raurachische Meeresstraße des Mittleren Oligozäns*". Aus der Heimat **65**: 41-44.
- WEILER, W. 1966: "*Die Bedeutung der Fischfunde im Rupelton der Tongrube Frauenweiler bei Wiesloch südlich Heidelberg*". Zeitschrift der Rheinischen Naturforschenden Gesellschaft Mainz **4**: 1-87.
- WEINKAUF, H.C. 1860: "*Septarienthon im Mainzer Becken*". Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefakte **1860**: 177-195.
- WENZ, W. 1921: "*Das Mainzer Becken und seine Randgebiete*". Heidelberg (Ehring), 325 S.
- WESTHEIDE, W. & RIEGER, R. 2009: "*Spezielle Zoologie Teil 2: Wirbel- und Schädeltiere*". 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg. Berlin: 759 S.
- WHITEHEAD, P. J. P. 2005: "*Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies, and wolf-herrings. Part 1. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae*". FAO Species Catalogue of Fishery Purpose **7**.
- WHITMORE, J. 2003: "*Experimental Fish Taphonomy in Comparison with Fossil Fishes*". Faculty Dissertations **48**.
- WILSON, M.V.H. 1980: "*Eocene lake environments depth and distance-from-shore variations in fish, insect, and plant assemblages*". Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **32**: 21-44.
- WILSON, M.V.H. 1982: "*Early Cenozoic insects: palaeoenvironmental biases and evolution of the North American insect fauna*". Proceedings of the 3rd North American Paleontological Convention **2**: 585-588.
- WILSON, M.V.H. 1988a: "*Taphonomic processes: Information loss and information gain*". Geoscience for Canada **15** (2): 131-148.
- WILSON, M.V.H. 1988b: "*Reconstruction of ancient lake environments using both autochthonous and allochthonous fossils*". Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **62**: 609-623.
- WINTERSCHIED, H. & GREGOR, H.-J. 2008: "*Eine Megaflora aus dem Rupelton (Unteroligozän) von Wiesloch bei Heidelberg (Baden-Württemberg)*". Documenta Naturae **171**: 1-17.
- WIRTH, E. 1969: "*Die Probleme des Eozäns im deutschen Anteil der Oberrheinebene und ihrer Randzonen*". Mémoires B.R.G.M. **69**: 287-396.
- WITTMANN, O. 1950: "*Stratigraphie und Paläogeographie des Tertiärs nördlich von Basel*". Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft **101**: 146-164.
- ZIEGLER, P.A. 1992: "*European Cenozoic rift system*". Tectonophysics **208**: 91 - 111.
- Web:**
Openstreetmap.org

10. Anhang

Tabelle 1: Vergleich der verwendeten Nomenklatur für die Florenvergesellschaftung.

vorliegende Arbeit	WAGNER-KLETT 1919 WINTERSCHIED & GREGOR 2008	KOVAR-EDER 2016 MAXWELL et al. 2016
Embryophyta indet.		
Phycophyta indet.		
<i>Thallites multifidus</i>		<i>Thallites multifidus</i>
Phaeophyta indet.		
<i>Cystoseirites</i> sp.	<i>Cystoseirites</i> sp.	
<i>Cystoseirites communis</i>		<i>Cystoseirites communis</i>
<i>Laminarites latus</i>		<i>Laminarites latus</i>
<i>Himanthalia</i> sp.	<i>Himanthalia</i> sp.	
Tracheophyta indet.		
Rhodophyta indet.		
Polypodiales indet.		
<i>Lygodium kaulfussi</i>		<i>Lygodium kaulfussi</i>
Spermatophytina indet.		
<i>Ceratozamia floersheimensis</i>		<i>Ceratozamia floersheimensis</i>
Ginkgoaceae indet.		
	<i>Doliosrobis taxiformes</i>	
Coniferoposida indet.		
Coniferales indet.		
<i>Pinus</i> sp.	<i>Pinus</i> sp.	<i>Pinus</i> sp.
<i>Pinus engelhardtii</i>		<i>Pinus engelhardtii</i>
<i>Pinus</i> cf. <i>thomasi</i>		<i>Pinus</i> cf. <i>thomasi</i>
Cupressaceae indet.		
<i>Taxodium</i> sp.		<i>Taxodium</i> sp.
<i>Tetraclinis</i> sp.		
<i>Tetraclinis salicornioides</i>	<i>Tetraclinis salicornioides</i>	<i>Tetraclinis salicornioides</i>
	<i>Sequoia abietina</i>	
Magnoliopsida indet.		
		<i>Pungiphyllum cruciatum</i>
<i>Dicotylophyllum</i> sp.		<i>Dicotylophyllum</i> sp.
<i>Dicotylophyllum badense</i>		<i>Dicotylophyllum badense</i>
<i>Dicotylophyllum oechsleri</i>		<i>Dicotylophyllum oechsleri</i>

<i>Dicotylophyllum vesiculaeferens</i>		<i>Dicotylophyllum vesiculaeferens</i>
Lauraceae indet.		
	<i>Daphnogene salicornioides</i>	
	<i>Cinnamomum scheuchzeri</i>	
<i>Actinodaphne pseudogermari</i>	<i>Daphnogene cinnamomifolia</i>	<i>Actinodaphne pseudogermari</i>
<i>Daphnogene cinnamomifolia</i>	<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>	<i>Daphnogene cinnamomifolia</i>
<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>		<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>
<i>Laurus abchasica</i>		<i>Laurus abchasica</i>
<i>Laurophyllum kinkelinii</i>		<i>Laurophyllum kinkelinii</i>
<i>Laurophyllum cf. kinkelinii</i>		<i>Laurophyllum cf. kinkelinii</i>
<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>		<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>
<i>Laurophyllum rauenbergense</i>		<i>Laurophyllum rauenbergense</i>
Zosteraceae indet.		
Arecales indet.		
Areceae indet.		
<i>Palmacites lamanonis</i>		<i>Palmacites lamanonis</i>
<i>Sabalites major</i>		<i>Sabalites major</i>
<i>Phoenicites sp.</i>	<i>Phoenicites sp.</i>	<i>Phoenicites sp.</i>
	<i>Trachycarpus (Flabellaria) scheuchzeri</i>	
Platanaceae indet.		
<i>Platanus neptuni</i>		<i>Platanus neptuni</i>
<i>Sloanea olmediaefolia</i>		<i>Sloanea olmediaefolia</i>
<i>Sloanea artocarpites</i>		<i>Sloanea artocarpites</i>
Juglandaceae indet.		
<i>Carya fragiliformis</i>		<i>Carya fragiliformis</i>
<i>Carya quadrangula</i>		<i>Carya quadrangula</i>
<i>Engelhardia orsbergensis</i>		<i>Engelhardia orsbergensis</i>
<i>Engelhardia macroptera</i>		<i>Engelhardia macroptera</i>
	<i>Juglans accuminata</i>	
	<i>Juglandites hagenianus</i>	
Salicaceae indet.	<i>Salix sp.</i>	
<i>Populus germanica</i>	<i>Populus sp.</i>	<i>Populus germanica</i>
Fagales indet.		
Fagaceae indet.	<i>Eotrigonobalanus furcinervis</i>	<i>Eotrigonobalanus furcinervis</i>
<i>Betula dryadum</i>		<i>Betula dryadum</i>
Myricaceae indet.		

Myrica sp.		
<i>Myrica</i> cf. <i>lignitum</i>	<i>Myrica lignitum</i>	<i>Myrica</i> cf. <i>lignitum</i>
<i>Myrica longifolia</i>		<i>Myrica longifolia</i>
<i>Myrica obliquifolia</i>		<i>Myrica obliquifolia</i>
<i>Comptonia difformis</i>		<i>Comptonia difformis</i>
<i>Craigia bronnii</i>		<i>Craigia bronnii</i>
<i>Distylium</i> sp.		<i>Distylium metzleri</i>
Cornaceae indet.		
<i>Hydrangea microcalyx</i>		<i>Hydrangea microcalyx</i>
Euriaceae indet.		
Theaceae indet.		? <i>Ternstroemites maritiae</i>
<i>Symplocos volkeri</i>	<i>Symplocos volkeri</i>	
<i>Symplocos deichmülleri</i>		<i>Symplocos deichmülleri</i>
Fabaceae indet.	Fabaceae gen. et. sp. indet.	? <i>Leguminocarpon</i> sp.
	? <i>Buxus dryadum</i>	? <i>Buxus egeriana</i>
		? <i>Berchemia altorhenana</i>
		? <i>Viscophyllum hendriskiae</i>
<i>Trachelospermum steiningeri</i>		<i>Trachelospermum steiningeri</i>
		<i>Trachelospermum kelleri</i>
<i>Oleinites rauenbergensis</i>		<i>Oleinites rauenbergensis</i>
<i>Oleinites altorhenana</i>		<i>Oleinites altorhenana</i>
	<i>Acer</i> sp.	
	<i>Tremophyllum</i> sp.	

Tabelle 2: Häufigkeit und Diversität der Fischechiefer-Flora.

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
				Embryophyta indet.	58	1,62 %
Phycophyta				Phycophyta indet.	293	8,18 %
				<i>Thallites multifidus</i>	11	0,31 %
	Phaeophyta			Phaeophyta indet.	7	0,29 %
				<i>Cystoseirites</i> sp.	2	0,06 %
				<i>Cystoseirites communis</i>	1	0,03 %
				<i>Laminarites latus</i>	9	0,35 %
				<i>Himanthalia</i> sp.	3	0,08 %
	Rhodophyta			Rhodophyta indet.	86	2,41 %
				Tracheophyta indet.	128	3,58 %
Polypodiopsida	Polypodiales			Polypodiales indet.	1	0,03 %
	Schizaeales			<i>Lygodium kaulfussii</i>	3	0,08 %
				Spermatophytina indet.	125	3,50 %
Cycadopsida	Cycadales			<i>Ceratozamia floersheimensis</i>	1	0,03 %
Coniferopsida				Coniferopsida indet.	49	1,37 %
	Coniferales			Coniferales indet.	2	0,06 %
			Pinaceae	<i>Pinus</i> sp.	19	0,57 %
				<i>Pinus engelhardtii</i>	1	0,03 %
				<i>Pinus</i> cf. <i>thomasiana</i>	4	0,12 %
			Cupressaceae	Cupressaceae indet.	19	0,48 %
				<i>Taxodium</i> sp.	3	0,09 %
				<i>Tetraclinis</i> sp.	1	0,03 %
				<i>Tetraclinis salicornioides</i>	21	0,63 %
Magnoliopsida				Magnoliopsida indet.	390	10,92 %
				<i>Dicotylophyllum</i> sp.	1	0,03 %
				<i>Dicotylophyllum badense</i>	1	0,03 %
				<i>Dicotylophyllum oechsleri</i>	1	0,03 %
				<i>Dicotylophyllum vesiculaeferens</i>	2	0,06 %
	Lurales		Lauraceae	Lauraceae indet.	12	0,36 %
				<i>Actinodaphne pseudogermari</i>	1	0,03 %
				<i>Daphnogene cinnamomifolia</i>	56	1,68 %
				<i>Laurus abchasic</i>	3	0,09 %
				<i>Laurophyllum kinkelinii</i>	2	0,06 %
				<i>Laurophyllum</i> cf. <i>kinkelinii</i>	2	0,06 %
				<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>	20	0,56 %

				<i>Laurophyllum rauenbergense</i>	3	0,09 %
	Alismatales		Zosteraceae	Zosteraceae indet.	2005	56,14 %
	Arecales			Arecales indet.	5	0,15 %
			Arecaceae	Arecaceae indet.	5	0,15 %
				<i>Palmacites lamanonis</i>	15	0,45 %
				<i>Sabalites major</i>	7	0,21 %
				<i>Phoenicites</i> sp.	1	0,03 %
	Proteales		Platanaceae	Platanaceae indet.	3	0,09 %
				<i>Platanus neptuni</i>	91	2,73 %
	Oxalidales		Elaeocarpaceae	<i>Sloanea olmediaefolia</i>	1	0,03 %
				<i>Sloanea artocarpites</i>	1	0,03 %
	Malpighiales		Juglandaceae	Juglandaceae indet.	1	0,03 %
				<i>Carya fragiliformis</i>	1	0,03 %
				<i>Carya quadrangula</i>	2	0,06 %
				<i>Engelhardia orsbergensis</i>	5	0,14 %
				<i>Engelhardia macroptera</i>	3	0,09 %
			Salicaceae	Salicaceae indet.	29	0,81 %
				<i>Populus germanica</i>	2	0,06 %
	Fagales			Fagales indet.	1	0,03 %
			Fagaceae	Fagaceae indet.	1	0,03 %
			Betulaceae	<i>Betula dryadum</i>	1	0,03 %
			Myricaceae	Myricaceae indet.	1	0,23 %
				<i>Myrica</i> sp.	6	0,17 %
				<i>Myrica cf. lignitum</i>	1	0,03 %
				<i>Myrica longifolia</i>	3	0,09 %
				<i>Myrica obliquifolia</i>	8	0,23 %
				<i>Comptonia difformis</i>	2	0,06 %
	Malvales		Malvaceae	<i>Craigia bronii</i>	1	0,03 %
	Saxifragales		Cercidiphyllaceae	<i>Distylium</i> sp.	1	0,03 %
	Cornales		Cornaceae	Cornaceae indet.	2	0,06 %
			Hydrangeaceae	<i>Hydrangea microcalyx</i>	1	0,03 %
	Euricales		Euriaceae	Euriaceae indet.	3	0,08 %
			Theaceae	Theaceae indet.	1	0,03 %
			Symplocaceae	<i>Symplocos volkeri</i>	1	0,03 %
				<i>Symplocos deichmülleri</i>	4	0,12 %
	Fabales		Fabaceae	Fabaceae indet.	1	0,03 %
	Gentianales		Apocynaceae	<i>Trachelospermum steiningeri</i>	2	0,06 %
	Lamiales		Oleaceae	<i>Oleinities rauenbergensis</i>	4	0,12 %

				<i>Oleinities altorhenana</i>	1	0,03 %
--	--	--	--	-------------------------------	---	--------

Tabelle 3: Erhaltene Elemente der Pflanzenfossilien.

erhaltene Elemente Taxon	Lager	Blätter	Holz/ Fusit	Zweige	Blüten	Zapfen	Fruktifikationen	Fragmente
Embryophyta indet.	-	2	6	-	-	-	-	4377
Phycophyta	300	-	-	-	-	-	-	57
Tracheophyta indet.	-	133	3	7	-	-	2	-
Pteridophyta	-	3	-	-	-	-	-	6
Spermatophytina indet.	-	5	2748	1	-	-	7	1
Cycadopsida	-	1	-	-	-	-	-	-
Coniferopsida	-	59	3	-	-	9	15	-
Magnoliopsida indet. (terrestrisch)	-	578	-	3	1	-	22	1
Zosteraceae indet.	-	2005	-	-	-	-	-	-
Gesamt	300	2823	2760	20	1	9	46	4441

Tabelle 4: Landlebende Pflanzen mit den absoluten Häufigkeiten und den rezenten Vergleichstaxa mit Lebensraum und Verbreitung.

Taxon	Abundanz	rezentes Vergleichstaxon	Lebensraum (rezent)	Verbreitung (rezent)	Klimazone (rezent)	immergrün	Literaturverweis
Schizeales indet. <i>Lygodium kaulfussii</i>	3 3	<i>Lygodium</i>	mesophytischer Mischwald	küstennah flusssnah	tropisch		MAI 1997 a, b
<i>Ceratozamia floersheimensis</i>	1	<i>Ceratozamia kuesteriana</i> REGEL 1857	Kiefer-Eichen-Nebelwald	1000 - 1800 m	tropisch		WHITELOCK 2002 MAXWELL ET AL. 2016
<i>Pinus</i> sp. <i>Pinus engelhardti</i> <i>Pinus</i> cf. <i>thomasiana</i>	19 1 4	<i>Pinus</i>	mesophytischer Mischwald	bis 2500 m flusssnah	arktisch bis tropisch	ja	BUTZMANN ET AL. 2009 MAXWELL ET AL. 2016
Cupressaceae indet. <i>Sequoia abietina</i> <i>Taxodium</i> sp. <i>Tetraclinis</i> sp. <i>Tetraclinis salicornioides</i>	19 ? (1) 3 1 21	<i>Sequoia sempervirens</i> (D. DON) ENDL. <i>Taxodium</i> <i>Tetraclinis articulata</i> (VAHL) MAST.	Regenwald (überflutungs-tolerant) Sumpf/Auwald	küstennah bis 300 m bis 1800 m	gemäßigt subtropisch	ja	MAXWELL ET AL. 2016 BUTZMANN ET AL. 2009 KVACEK ET AL. 2000

Lauraceae indet. <i>Actinodaphne pseudogermari</i> <i>Daphnogene cinnamomifolia</i> <i>Laurus abchasica</i> <i>Laurophyllum kinkelinii</i> <i>Laurophyllum cf. kinkelinii</i> <i>Laurophyllum pseudoprinceps</i> <i>Laurophyllum rauenbergense</i>	12 1 56 3 2 2 20 3	<i>Actinodaphne</i> <i>Cinnamomum</i> <i>camphora</i> L. <i>Laurus nobilis</i> L. <i>Laurus azorica</i> (SEUB.) FRANKO <i>Ocotea</i>	Bergareale Regenwald Auwald Lorbeerwälder	feuchte Böden	subtropisch bis tropisch	ja	BUTZMANN ET AL. 2009 KRÜSSMANN 1977 KUNZMANN & WALTHER 2002 MAXWELL ET AL. 2016
Arecales indet. Arecaceae indet. <i>Phoenicites</i> sp. <i>Palmacites lamanonis</i> <i>Sabalites major</i>	5 5 1 15 7	Arecaceae (Fiederpalmen) Arecaceae (Fächerpalmen)	Mangrovensumpf Palmetto-Sumpf	küstennah flusssnah	subtropisch bis tropisch	ja	DRANSFIELD ET AL. 2008 MAXWELL ET AL. 2016
Platanaceae indet. <i>Plantanus neptuni</i>	3 91	<i>Platanus kerrii</i> GAGNEP.	mesophytischer Mischwald	feuchte Böden flusssnah	gemäßigt bis subtropisch	ja	BUTZMANN ET AL. 2009 KRÜSSMANN 1978 MAXWELL ET AL. 2016 WALTHER 1999
Salicaceae indet. <i>Populus germanica</i>	29 1	Salicaceae <i>Populus</i>	mesophytischer Mischwald	feuchte Böden flusssnah	arktisch bis gemäßigt		MAXWELL ET AL. 2016 TEODORIDES 2003
<i>Sloanea olmediaefolia</i> <i>Sloanea artocarpites</i>	1 1	<i>Sloanea sinensis</i> (HANCE) HEMSL. <i>Sloanea</i> (Südostasien)	Regenwald	küstennah	subtropisch bis tropisch	ja	HABLY ET AL. 2007 MAXWELL ET AL. 2016 TAMAS & HABLY 2005
<i>Betula dryadum</i>	1	<i>Betula</i>	freie Flächen	trockene bis nasse Böden	gemäßigt bis subtropisch		MAI 1997 b
Juglandaceae indet. <i>Engelhardia orsbergensis</i> <i>Engelhardia macroptera</i> <i>Carya quadrangula</i> <i>Carya fragiliformis</i>	1 5 3 2 1	Juglandaceae <i>Engelhardia serrata</i> BLUME <i>Oreomunnea mexicana</i> (STANDL.) LEROY <i>Engelhardia</i> <i>roxburghiana</i> WALL. <i>Carya</i>	Bergregenwälder Laubmischwälder Bergareale	700 - 1000 m über 1000 m bis 1600 m küstennah flusssnah	subtropisch gemäßigt bis subtropisch		BUTZMANN ET AL. 2009 MAXWELL ET AL. 2016
Myricaceae indet	1						BUTZMANN ET AL.

<i>Myrica</i> sp.	6	<i>Myrica</i>	Dünen	küstennah	subtropisch		2009
<i>Myrica</i> cf. <i>lignitum</i>	1	<i>Myrica californica</i>	feuchte Berghänge				MAXWELL ET AL.
<i>Myrica longifolia</i>	3	CHAM. & SCHLTDL.	Kiefernwälder				2016
<i>Myrica obliquifolia</i>	8	<i>Myrica</i>	Berghänge		gemäßigt bis		
<i>Comptonia difformis</i>	2	<i>Comptonia peregrina</i> (L.) J.M. COULT.		bis 1800 m	subtropisch		
<i>Craigia bronii</i>	1	<i>Craigia yunnanensis</i> W. SMITH & W.E. EVANS		feuchte Böden	subtropisch bis tropisch		JIN ET AL. 2009 MAXWELL ET AL. 2016
<i>Distylium</i> sp.	1	<i>Distylium</i>	mesophytischer Mischwald	bis 1300 m ü. NN	subtropisch bis tropisch	ja	MAXWELL ET AL. 2016
Cornaceae indet.	2	Cornaceae	Sumpf	küstennah flusssnah	gemäßigt bis tropisch		MABBERLEY 2008
<i>Hydrangea microcalyx</i>	1	<i>Hydrangea</i>	mesophytischer Mischwald		gemäßigt bis subtropisch		ZHENG-YI & RAVEN 2002
Ericaceae indet.	3	Ericaceae	mesophytischer Mischwald	alle Höhenlagen	arktisch bis subtropisch		KVAČEK 2004
Theaceae indet.	1	Theaceae	Gebirgswälder		subtropisch bis tropisch	ja	MAI 1987
<i>Symplocos volkeri</i>	1	<i>Symplocos</i>	mesophytischer	feuchte Böden	subtropisch bis	ja	KVAČEK 2004
<i>Symplocos deichmülleri</i>	4		Mischwald		tropisch		MAXWELL ET AL. 2016
<i>Trachelospermum steinigeri</i>	1	<i>Trachelospermum</i>			subtropisch bis tropisch	ja	MAXWELL ET AL. 2016
<i>Oleinites rauenbergensis</i>	4	Oleaceae			gemäßigt bis	ja	MAXWELL ET AL.
<i>Oleinites altorhenana</i>	1				tropisch		2016

Tabelle 5: Vergleich der verwendeten Nomenklatur für marine Wirbellose (Makroinvertebrata).

Taxon	vorliegende Arbeit	MAXWELL et al. 2016
Gastropoda	<i>Turris</i> sp.	
	<i>Turricula</i> sp.	
	<i>Cassis</i> sp.	
	<i>Galeodea</i> sp.	<i>Galeodea depressa</i>
	? <i>Opalia</i> sp.	? <i>Opalia</i> sp.
	<i>Drepanocheilus</i> cf. <i>speciosus</i>	<i>Drepanocheilus</i> cf. <i>speciosus</i>
		<i>Streptochetus</i> sp.
		<i>Muricopsis</i> sp.
		<i>Euspira</i> cf. <i>E. mircomphalus</i>
		<i>Granulolabium plicatum</i>
Bivalvia	<i>Laevicardium tenuisulcatum</i>	<i>Laevicardium tenuisulcatum</i>
	<i>Chama weinheimensis</i>	<i>Chama weinheimensis</i>
	<i>Panopea</i> ? sp.	<i>Panopea</i> ? sp.
	<i>Ostrea</i> sp.	
	<i>Crassostrea cyathula</i>	
	<i>Plicatula</i> sp.	
	<i>Glycymeris</i> sp.	<i>Glycymeris</i> sp.
	<i>Pholadomya weissi</i> ?	<i>Pholadomya weissi</i> ?
	<i>Isognomon</i> sp.	<i>Isognomon</i> sp.
	<i>Pecten</i> sp.	
	<i>Nucula</i> sp.	
	<i>Nucula duchastelli</i>	<i>Nucula duchastelli</i>
	<i>Arcopagia</i> ? sp.	<i>Arcopagia</i> ? sp.
	<i>Thyasira benedeni</i>	<i>Thyasira benedeni</i>
	<i>Portlandia deshayesiana</i>	<i>Portlandia deshayesiana</i>
Echinodermata	Cidaridae indet.	
	? <i>Ova</i> sp.	? <i>Ova</i> sp.
Arthropoda		Callianassidae gent. et sp. indet.
		<i>Hoploparia klebsi</i>
	<i>Coeloma taunicum</i>	<i>Coeloma taunicum</i>
	<i>Protochelonibia</i> sp.	<i>Protochelonibia</i> sp.
	Pedunculata indet.	Pedunculata gen. et sp. indet.

Tabelle 6: Häufigkeit und Diversität der marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Gastropoda				Gastropoda indet.	16	4,62 %
	Sorbeoconcha	Conoidea	Turridae	<i>Turris</i> sp.	18	5,20 %
			Clavatulidae	<i>Turricula</i> sp.	18	5,20 %
		Cassoidea	Cassidae	<i>Cassis</i> sp.	2	0,58 %
				<i>Galeodea</i> sp.	2	0,58 %
		Epitonioidae	Epitoniidae	? <i>Opalia</i> sp.	1	0,29 %
		Naticoidea	Naticidae	Naticidae indet.	1	0,29 %
		Stromboidea	Aporrhaidae	Aporrhaidae indet.	5	1,44 %
				<i>Drepanocheilus</i> cf. <i>D. speciosus</i>	13	3,75 %
		Buccinoidea	Fascioliariidae	<i>Streptochetus</i> sp.	1	0,29 %
Bivalvia				Bivalvia indet.	20	5,78%
	Heteroconchia	Heterodonta	Cardiidae	<i>Laevicardium tenuisulcatum</i>	1	0,29 %
			Chamidae	<i>Chama weinheimensis</i>	1	0,29 %
			Hiatellidae	<i>Panopea</i> ? sp.	1	0,29 %
	Pteriomorphia	Ostreoida	Ostreidae	<i>Ostrea</i> sp.	1	0,29 %
				<i>Crassostrea cyathula</i>	1	0,29 %
			Plicatulidae	<i>Plicatula</i> sp.	1	0,29 %
		Arcoida	Glycymerididae	<i>Glycymeris</i> sp.	2	0,58 %
		Pterioida	Pholadomyidae	<i>Pholadomya weissii</i> ?	1	0,29 %
			Pteriidae	<i>Isognomon</i> sp.	1	0,29 %
		Pectinoidea	Pectinidae	<i>Pecten</i> sp.	5	1,44 %
	Nuculoidea	Nuculoida	Nuculanidae	<i>Nucula</i> sp.	110	31,79 %
				<i>Nucula duchastelli</i>	5	1,44 %
			Tellinidae	<i>Arcopagia</i> ? sp.	2	0,58 %
			Thyasiridae	Thyasiridae indet.	14	4,04 %
				<i>Thyasira benedeni</i>	9	2,60 %
			Yoldiidae	<i>Portlandia deshayesiana</i>	3	0,86 %
Echinodermata				Echinoidea indet.	6	1,73 %
	Cidaroida		Cidaridae	Cidaridae indet.	1	0,29 %
	Spatangoida		Schizasteridae	Schizasteridae indet.	9	2,60 %
				<i>Ova</i> sp.	29	8,38 %
Malacostraca				Malacostraca indet.	5	1,44 %
	Decapoda			Decapoda indet.	4	1,16 %
		Pleocyemata	Mathildellidae	Mathildellidae indet.	1	0,29 %
				<i>Coeloma taunicum</i>	28	7,99 %
Maxillopoda	Cirripedia		Balanidae	<i>Protochelonibia</i> sp.	4	1,16 %

			Pedunculata	Pedunculata indet.	4	1,16 %
--	--	--	-------------	--------------------	---	--------

Tabelle 7: Erhaltene Elemente der marinen Wirbellosen (Makroinvertebrata).

erhaltene Elemente	Schalen (Aragonit/ Kalzit)	Schalen (Kalzit)	Panzer (Chitin)	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon							
Gastropoda	99	-	-	-	-	-	1
Bivalvia	147	-	-	-	-	-	-
Echinodermata	-	59	-	-	-	2	-
Decapoda	-	-	27	1	2	-	-
Cirripedia	-	-	8	-	-	-	-
Gesamt	246	59	35	1	2	2	1

Tabelle 8: Marine Wirbellose (Makroinvertebrata) mit der absoluten Häufigkeit und den rezenten Vergleichstaxa mit deren Lebensweise, Ernährung und Lebensraum (ZIEGLER 1991).

Fischschiefer-Taxon	Abundanz	rezentes Vergleichstaxon	Lebensweise (rezent)	Ernährung (rezent)	Lebensraum (rezent)	Klimazone (rezent)
<i>Turris</i> sp.	18	<i>Turris</i>	epi- und endobenthisch	Strudler	Flachwasser (subtidal)	tropisch
<i>Cassis</i> sp.	2	Cassidae	epibenthisch	carnivor (Echinodermata)	Flachwasser (subtidal)	subtropisch bis tropisch
<i>Galeodea</i> sp.	2					
<i>Turricula</i> sp.	18	<i>Turricula</i>	epibenthisch	carnivor	Flachwasser (subtidal)	subtropisch
? <i>Opalia</i> sp.	1	<i>Opalia</i>	epibenthisch	carnivor	Flachwasser (subtidal)	subtropisch
Naticidae indet.	1	Naticidae	endobenthisch	carnivor (Gastropoda, Bivalvia)	Weichsubstrat (bis zu 5000 m)	arktisch bis tropisch
Aporrhaidae indet.	5	Aporrhaidae			subtidal (> 10 m)	
<i>Drepanocheilus</i> cf. <i>D. speciosus</i>	13	<i>Aporrhais pespelecani</i> LINNAEUS 1758	endobenthisch	Detritusfresser, carnivor	subtidal (10 bis 180 m)	gemäßigt
<i>Streptochetus</i> sp.	1	Fascioliariidae	epibenthisch	carnivor (Gastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Cirripedia)	Weichsubstrat (subtidal)	gemäßigt bis tropisch
<i>Laevicardium tenuisulcatum</i>	1	<i>Levicardium crassum</i> GMELIN 1791	endobenthisch fakultativ mobil	Planktonfresser Detritusfresser	Weichsubstrat (subtidal, bis 200 m)	gemäßigt bis tropisch

<i>Chama weinheimensis</i>	1	<i>Chama lazarus</i> LINNAEUS 1758	epibenthisch sessil	Filterierer	Flachwasser (subtidal, bis 30 m)	subtropisch bis tropisch
? <i>Panopea</i> sp.	1	<i>Panopea</i>	endobenthisch sessil	Detritusfresser	Flachwasser (subtidal)	gemäßigt bis subtropisch
<i>Ostrea</i> sp.	1	Ostreidae	epibenthisch sessil	Filterierer	Flachwasser riff-/biohermgebunden küstennah niedrigenergetische Bereiche subtidal	gemäßigt bis subtropisch
<i>Crassostrea cyathula</i>	1					
<i>Plicatula</i> sp.	1	<i>Plicatula</i>	epibenthisch sessil	Filterierer	Flachwasser (subtidal) riff-/biohermgebunden küstennah niedrigenergetische Bereiche	subtropisch bis tropisch
<i>Glycymeris</i> sp.	2	<i>Glycymeris</i>	endobenthisch	Filterierer	Flachwasser (subtidal, bis 100 m)	gemäßigt bis subtropisch
? <i>Pholadomya weissii</i>	1	Pholadomyidae	endobenthisch	Detritusfresser	Flachwasser (subtidal)	subtropisch bis tropisch
<i>Isognomon</i> sp.	1	<i>Isognomon</i>	epibenthisch sessil auf Wurzeln von Bäumen im Sumpf	Detritusfresser	Flachwasser küstennah riff-/biohermgebunden (subtidal)	subtropisch bis tropisch
<i>Pecten</i> sp.	5	<i>Pecten</i>	epibenthisch fakultativ mobil	Filterierer	küstennah (subtidal)	gemäßigt
<i>Nucula</i> sp.	120	<i>Nucula</i>	endobenthisch	Detritusfresser	Weichsubstrat Flachwasser (subtidal) hypoxietolerant	gemäßigt bis subtropisch
<i>Nucula duchasteli</i>	5					
? <i>Arcopagia</i> sp.	2	<i>Tellina</i>	endobenthisch fakultativ mobil	Detritusfresser	Flachwasser (subtidal) brackwassertolerant	gemäßigt
Thyasiridae indet.	14	<i>Thyasira</i>	endobenthisch	Strudler	Flachwasser (subtidal) sauerstoffarme und sulfidreiche Böden	gemäßigt
<i>Thyasira benedeni</i>	9					
<i>Portlandia deshayesiana</i>	3	<i>Portlandia</i>	endobenthisch	Detritusfresser	Flachwasser (subtidal)	arktisch bis gemäßigt
Cidaridae indet.	1	Cidaridae	epibenthisch	omnivor	Flachwasser (subtidal)	tropisch
Schizasteridae indet.	9	<i>Schizaster</i> sp.	endobenthisch	Detritus- und Supensionsfresser	Flachwasser (subtidal) küstennah	gemäßigt bis tropisch

<i>Ova</i> sp.	29				Anoxietolerant	
<i>Coeloma taunicum</i>	28	Mathildellidae	epibenthisch	carnivor	Flachwasser (subtidal)	subtropisch bis tropisch
<i>Protochelonibia</i> sp.	4	Chelonibiidae	epizooisch	Filterierer	u. a. Schilkrötenpanzer	
<i>Pedunculata</i> indet.	4	Pedunculata	epibenthisch (sessil)	Filterierer	u. a. Treibholz	

Tabelle 9: Vergleich der verwendeten Nomenklatur für landlebende Wirbellose (Makroinvertebrata).

vorliegende Arbeit	MONNINGER & FREY 2010	MAXWELL et al. 2016
Aranae indet.		cf. Araneae
		cf. Scorpiones?
	Mantodea indet.	
Zygoptera indet.		Zygoptera indet.
Calopterygidae indet.		Calopterygidae indet.
cf. Orthoptera		cf. Orthoptera
Hemiptera indet.	Hemiptera	Hemiptera indet.
Heteroptera indet.	Heteroptera	
	Acanthostomatidae	
		Pentatomorpha
Pentatomidae indet.	Pentatomidae	Pentatomidae
Auchenorrhyncha indet.	Auchenorrhyncha	Auchenorrhyncha
cf. Diptera		cf. Diptera
Bibionidae indet.		
cf. <i>Bibio</i>		cf. <i>Bibio</i>
Coloeptera indet.	Coloeptera indet.	
	Adephaga	
Carabidae indet.	Carabidae	Carabidae
cf. Buprestidae		cf. Buprestidae
	Elateroidea	Elateroidea
Curculionidae indet.	Curculionidae	Curculionidae
Cerambycidae indet.		Cerambycidae
cf. Staphylinidae		cf. Staphylinidae
cf. Hymenoptera	Hymenoptera	cf. Hymenoptera
Formicidae indet.		Formicidae
cf. Geometridae	Amphiesmenoptera	cf. Geometridae
	Mantodea	

Tabelle 10: Häufigkeit und Diversität der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Arachnida				Aranae indet.	3	0,79 %
Insecta				Insecta indet.	149	39,31 %
	Odonata	Zygoptera		Zygoptera indet.	2	0,52 %
				Calopterygidae indet.	4	1,05 %
	Neoptera			Neoptera indet.	3	0,79 %
		Orthoptera		cf. Orthoptera	2	0,52 %
		Hemiptera		Hemiptera indet.	2	0,52 %
			Heteroptera	Heteroptera indet.	20	5,28 %
				Pentatomidae indet.	3	0,79 %
			Auchenorrhyncha	Auchenorrhyncha indet.	4	1,05 %
		Diptera		cf. Diptera	14	5,02 %
			Nematocera	Bibionidae indet.	1	0,26 %
				cf. <i>Bibio</i>	3	0,79 %
		Coleoptera		Coloeptera indet.	146	38,52 %
			Adephaga	Carabidae indet.	3	0,79 %
			Polyphaga	cf. Buprestidae	1	0,26 %
				Curculionidae indet.	6	1,58 %
				Cerambycidae indet.	2	0,52 %
				cf. Staphylinidae	1	0,26 %
		Hymenoptera		cf. Hymenoptera	6	1,58 %
			Apocrita	Formicidae indet.	3	0,79 %
		Lepidoptera		Geometridae indet.	2	0,52%

Tabelle 11: Erhaltene Elemente der landlebenden Wirbellosen (Makroinvertebrata).

erhaltene Elemente	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon				
Arachnida	1	2	-	-
Insecta	57	184	61	75
Gesamt	58	186	61	75

Tabelle 12: Vergleich der verwendeten Nomenklatur für Knorpelfische (Chondrichthyes).

vorliegende Arbeit	HOVESTADT et al. 2010	MAXWELL et al. 2016
Chimaeridae indet.	Chimaeridae indet.	Chimaeridae indet.
<i>Carcharias acutissima</i>	<i>Carcharias acutissima</i>	<i>Carcharias acutissima</i>
<i>Carcharias cuspidata</i>	<i>Carcharias cuspidata</i>	<i>Carcharias cuspidata</i>
<i>Carcharias gustrowensis</i>	<i>Carcharias gustrowensis</i>	<i>Carcharias gustrowensis</i>
<i>Keasius parvus</i>	<i>Cetorhinus parvus</i>	<i>Keasius parvus</i>
<i>Isurolamna gracilis</i>	<i>Isurolamna gracilis</i>	<i>Isurolamna gracilis</i>
<i>Isurus desori</i>		
<i>Otodus angustidens</i>		
<i>Physogaleus latus</i>	<i>Physogaleus latus</i>	<i>Physogaleus latus</i>
<i>Triakis kelleri</i>	<i>Triakis kelleri</i>	<i>Triakis kelleri</i>
<i>Notorhynchus primigenius</i>	<i>Notorhynchus primigenius</i>	<i>Notorhynchus primigenius</i>
	<i>Squalus alsaticus</i>	<i>Squalus alsaticus</i>
<i>Weissobatis micklichi</i>	<i>Weissobatis micklichi</i>	<i>Weissobatis micklichi</i>
		<i>Myliobatis</i> aff. <i>M. oligocaenus</i>

Tabelle 13: Häufigkeit und Diversität der Knorpelfische (Chondrichthyes).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Chondrichthyes				Chondrichthyes indet.	1	5,26 %
	Chimaeriformes		Chimaeridae	Chimaeridae indet.	1	5,26 %
				Selachii indet.	6	31,58 %
	Lamniformes			Lamniformes indet.	1	5,26 %
			Odontaspidae	Odontaspidae indet.	2	10,53 %
				<i>Carcharias</i> sp.	1	5,26 %
				<i>Carcharias gustrowensis</i>	1	5,26 %
			Cetorhinidae	<i>Keasius parvus</i>	1	5,26 %
			Lamnidae	<i>Isurolamna</i> sp.	1	5,26 %
	Carcharhiniformes			<i>Physogaleus latus</i>	1	5,26 %
			Triakidae	<i>Triakis kelleri</i>	1	5,26 %
	Myliobatiformes		Myliobatidae	<i>Weissobatis micklichi</i>	2	10,53 %

Tabelle 14: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Knorpelfische (Chondrichthyes).

erhaltene Elemente		Flossen- stachel	Zähne	Kauplatte	Kiemenreusen- dornen	Kiemenreusen- dornenbündel	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganz- körper
Zerfallsstufe	Gesamt							
Stufe 1	0	-	-	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-	-	-
Stufe 3	2	-	-	-	-	-	-	2
Stufe 4	3	-	-	-	-	-	-	3
Stufe 5	10	-	-	-	-	10	-	-
Stufe 6	40	-	-	-	-	40	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-	-	-
Stufe 8	6	-	-	-	-	-	6	-
Stufe 9	154	-	85	1	68	-	-	-
Stufe 10	2429	1	16	-	2391	-	21	-
Gesamt	2644	1	101	1	2459	50	27	5

Tabelle 15: Vergleich der verwendeten Nomenklatur für Knochenfische (Teleostei).

vorliegende Arbeit	MICKLICH & PARIN 1996 PARIN & MICKLICH 1996 MICKLICH 1998 SAKAMOTO et al. 2003 a,b PARIN & ASTAKHOV 2007 PROKOVIEV 2011	MAXWELL et al. 2016
Elopidae indet.	cf. <i>Elops</i> sp.	Elopidae gen. et sp. indet.
<i>Deutschenchelys micklichi</i>	<i>Deutschenchelys micklichi</i>	<i>Deutschenchelys micklichi</i>
Clupeidae indet.		Clupeidae indet. sp. a
Clupeidae indet.		Clupeidae indet. sp. b
" <i>Sardinella</i> " <i>sardinites</i>	<i>Clupea sardinites</i>	" <i>Sardinella</i> " <i>sardinites</i>
Veliferidae indet.		Veliferidae indet.
	? <i>Eophycis</i> sp.	
<i>Palaeogadus</i> sp.	<i>Palaeogadus</i> sp.	
<i>Palaeogadus</i> cf. <i>P. intergerinus</i>		<i>Palaeogadus</i> cf. <i>P. intergerinus</i>
	? <i>Psenicubiceps</i> sp.	
<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	<i>Palaeorhynchus glarisianus</i>	<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>
		<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. zitteli</i>
<i>Capros</i> sp.	<i>Capros</i> sp.	
<i>Capros caprosoides</i>		<i>Capros caprosoides</i>

<i>Proantigonia</i> sp.		<i>Proantigonia</i> sp.
	<i>Dicentrachus</i> sp.	
<i>Priacanthus spinosus</i>	<i>Pristigenys (Priacanthus) spinosus</i>	<i>Priacanthus spinosus</i>
Ophidiidae indet.		Ophidiidae indet.
<i>Aulostomus medius</i>	<i>Aulostomus medius</i>	<i>Aulostomus medius</i>
<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>
<i>Aeoliscus distinctus</i>	<i>Aeoliscus distinctus</i>	<i>Aeoliscus distinctus</i>
<i>Aeoliscus heinrichi</i>	<i>Aeoliscus heinrichi</i>	<i>Aeoliscus heinrichi</i>
<i>Syngnathus</i> cf. <i>S. incompletus</i>	<i>Syngnathus</i> cf. <i>incompletus</i>	<i>Syngnathus</i> cf. <i>S. incompletus</i>
<i>Doryrhamphus</i> sp.	<i>Doryrhamphus</i> sp.	<i>Doryrhamphus</i> sp.
<i>Microphis</i> sp.	? <i>Microphis</i> sp.	<i>Microphis</i> sp.
		<i>Nerophis</i> sp.
<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>O. gracilis</i>	<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>gracilis</i>	<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>O. gracilis</i>
<i>Palimphytes</i> sp.	<i>Palimphytes</i> cf. <i>chadumicus</i>	
<i>Musculopedunculus micklichi</i>	<i>Musculopedunculus micklichi</i>	<i>Musculopedunculus micklichi</i>
<i>Abadzekhia</i> cf. <i>A. marinae</i>		<i>Abadzekhia</i> cf. <i>A. marinae</i>
		<i>Abadzekhia</i> cf. <i>A. tarletskovi</i>
<i>Propercarina</i> sp.		<i>Propercarina</i> sp.
		cf. <i>Thyrsitoides</i> sp.
	cf. <i>Gempylus</i> sp.	Gempylidae indet. aff. <i>Diplospinus</i> sp.
	cf. <i>Gempylus</i> sp.	Gempylidae indet. aff. <i>Neoepinnula</i> sp.
<i>Lepidopus</i> sp.	<i>Lepidopus glarisianus</i>	<i>Lepidopus</i> sp.
<i>Anenchelum</i> sp.	<i>Anenchelum</i> sp.	<i>Anenchelum</i> cf. <i>angustum</i>
<i>Eutrichiurides delheidi</i>	<i>Eutrichiurides delheidi</i>	
<i>Auxides</i> sp.		<i>Auxides</i> cf. <i>cernegurae</i>
<i>Scomber</i> sp.	<i>Scomber</i> sp.	<i>Scomber</i> sp.
<i>Scomberomorus lingulatus</i>	<i>Scomberomorus lingulatus</i>	<i>Scomberomorus lingulatus</i>
<i>Sarda brachycephala</i>	<i>Sarda brachycephala</i>	<i>Sarda brachycephala</i>
<i>Neocybium</i> sp.		<i>Neocybium</i> sp.
cf. <i>Sphyraenodus</i> sp.	<i>Sphyraenodus</i> sp.	cf. <i>Sphyraenodus</i> sp.
<i>Pinichthyes</i> cf. <i>pulcher</i>	<i>Pinichthyes</i> cf. <i>pulcher</i>	<i>Pinichthyes pulcher</i>
<i>Rybapina</i> cf. <i>R. caucasica</i>		<i>Rybapina</i> cf. <i>R. caucasica</i>
	? <i>Pterycombus</i> sp.	
cf. <i>Sphyraena</i> sp.		cf. <i>Sphyraena</i> sp.
<i>Archaeus glarisianus</i>	<i>Caranx</i> cf. <i>glarisianus</i>	<i>Archaeus glarisianus</i>
<i>Seriola multiradiata</i>		<i>Seriola multiradiata</i>
<i>Oligoremora rhenana</i>	<i>Echeneis</i> sp.	<i>Oligoremora rhenana</i>

<i>Oligoscoptthalmus weissi</i>	<i>Oligoscoptthalmus weissi</i>	<i>Oligoscoptthalmus weissi</i>
<i>Scophthalmus</i> sp.		<i>Scophthalmus</i> sp.
<i>Oligopleuronectes germanicus</i>	<i>Oligopleuronectes germanicus</i>	<i>Oligopleuronectes germanicus</i>
<i>Hemiramphus</i> sp.	<i>Hemiramphus</i> cf. <i>georgii</i>	<i>Hemiramphus</i> sp.
<i>Archaehippus</i> sp.	? <i>Archaehippus</i> sp.	
<i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i>	<i>Sparus</i> cf. <i>schoppii</i>	<i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i>
Chaetodontidae indet.		Chaetodontidae gen. et. sp. indet.
<i>Leiognathoides</i> cf. <i>L. altapinna</i>		<i>Leiognathoides</i> cf. <i>L. altapinna</i>
Lophiidae indet.		Lophiidae indet. n.g. n.sp.
cf. <i>Microcanthus</i> sp.		cf. <i>Microcanthus</i> sp.
<i>Reproca sabai</i>	<i>Properca sabai</i>	<i>Reproca sabai</i>
<i>Oliganodon</i> sp.		<i>Oliganodon</i> sp.
<i>Oliganodon budensis</i>	<i>Serranus budensis</i>	<i>Oliganodon budensis</i>
<i>Trachinus</i> sp.	? <i>Trachinus</i> sp.	<i>Trachinus</i> cf. <i>minutus</i>
cf. <i>Sebastes</i> sp.	cf. <i>Sebastes</i> sp.	cf. <i>Sebastes</i> sp.
Triglidae indet.		Triglidae indet.

Tabelle 16: Häufigkeit und Diversität der Knochenfische (Teleostei).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Teleostei				Teleostei indet.	4180	29,26 %
	Elopiformes		Elopidae	Elopidae indet.	3	0,02 %
	Anguiliformes		Moringuidae	<i>Deutschenchelys micklichi</i>	1	0,01 %
	Clupeiformes	Clupeoidei	Clupeidae	Clupeidae indet.	4298	30,09 %
				<i>"Sardinella" sardinites</i>	69	0,48 %
	Lampriformes		Veliferidae	Veliferidae indet.	4	0,03 %
	Gadiformes			Gadiformes indet.	9	0,06 %
		Gadoidei	Gadidae	Gadidae indet.	5	0,04 %
				<i>Palaeogadus</i> sp.	35	0,25 %
				<i>Palaeogadus</i> cf. <i>P. intergerinus</i>	2	0,01 %
	Ophidiiformes		Ophidiidae	Ophidiidae indet.	1	0,01 %
	Percomorphaceae inc. sed.			Percomorphaceae indet.	81	0,59 %
			Palaeorhynchidae	<i>Palaeorhynchus</i> sp.	20	0,14 %
				<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	30	0,21 %
			Caproidae	Caproidae indet.	1	0,01 %
				<i>Capros</i> sp.	22	0,15 %
				<i>Capros caprosoides</i>	7	0,05 %
				<i>Proantigonia</i> sp.	1	0,01 %

			Priacanthidae	Priacanthidae indet.	4	0,03 %
				<i>Priacanthus</i> sp.	29	0,20 %
				<i>Priacanthus spinosus</i>	168	1,18 %
	Syngnathiformes			Syngnathiformes indet.	38	0,27 %
			Aulostomidae	Aulostomidae indet.	25	0,18 %
				<i>Aulostomus</i> sp.	1	0,01 %
				<i>Aulostomus medius</i>	50	0,35 %
				<i>Frauenweilerstomus</i> sp.	6	0,04 %
				<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	25	0,18 %
			Centriscidae	<i>Aeoliscus</i> sp.	2265	15,86 %
				<i>Aeoliscus distinctus</i>	9	0,06 %
				<i>Aeoliscus heinrichi</i>	50	0,35 %
			Syngnathidae	Syngnathidae indet.	253	1,77 %
				<i>Syngnathus</i> sp.	94	0,66 %
				<i>Syngnathus</i> cf. <i>S. incompletus</i>	3	0,02 %
				<i>Doryrhamphus</i> sp.	23	0,16 %
				<i>Microphis</i> sp.	2	0,01 %
			Urosphenidae	Urosphenidae indet.	2	0,01 %
				<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>O. gracilis</i>	4	0,03 %
	Scombriformes			Scombriformes indet.	216	1,51 %
			Euzaphlegidae	<i>Palimphytes</i> sp.	4	0,03 %
			Musculopedunculidae	<i>Musculopedunculus micklichi</i>	1	0,01 %
		Scombroidei	Gempylidae	Gempylidae indet.	42	0,29 %
				<i>Abadzekhia</i> sp.	9	0,06 %
				<i>Abadzekhia</i> cf. <i>A. marinae</i>	4	0,03 %
				<i>Propercarina</i> sp.	73	0,51 %
			Trichiuridae	Trichiuridae indet.	66	0,46 %
				<i>Lepidopus</i> sp.	12	0,08 %
				<i>Anenchelum</i> sp.	19	0,13 %
				<i>Eutrichiurides delheidi</i>	13	0,09 %
			Scombridae	Scombridae indet.	156	1,09 %
				<i>Auxides</i> sp.	12	0,08 %
				<i>Scomber</i> sp.	12	0,08 %
				<i>Scomberomorus</i> sp.	16	0,11 %
				<i>Scomberomorus lingulatus</i>	3	0,02 %
				<i>Sarda brachycephala</i>	81	0,57 %
				<i>Neocybium</i> sp.	3	0,01 %
				cf. <i>Sphyraenodus</i> sp.	1	0,01 %

		Stromateoidei	Stromateidae	Stromateidae indet.	4	0,03 %
				<i>Pinichthyes</i> sp.	29	0,20 %
				<i>Pinichthyes pulcher</i>	38	0,27 %
				<i>Rybapina</i> cf. <i>R. caucasica</i>	3	0,02 %
	Carangiformes			Carangiformes indet.	3	0,02 %
			Sphyraenidae	cf. <i>Sphyraena</i> sp.	2	0,01 %
		Carangoidei	Carangidae	Carangidae indet.	6	0,04 %
				<i>Archaeus</i> sp.	55	0,39 %
				<i>Archaeus glarisanus</i>	55	0,39 %
				<i>Seriola multiradiata</i>	6	0,03 %
		Echinoidei	Echeneidae	<i>Oligoremora rhenanus</i>	3	0,02 %
	Pleuronectiformes			Pleuronectiformes indet.	18	0,09 %
		Pleuronectoidei	Scophthalmidae	<i>Oligoscoptthalmus weissi</i>	3	0,02 %
				<i>Scophthalmus</i> sp.	1	0,01 %
			Pleuronectidae	Pleuronectidae indet.	10	0,07%
				<i>Oligopleuronectes germanicus</i>	2	0,01 %
	Beloniformes			Beloniformes indet.	6	0,03 %
			Hemiramphidae	Hemiramphidae indet.	1	0,01 %
				<i>Hemiramphus</i> sp.	62	0,43 %
	Ephippiformes		Ephippidae	<i>Archaehippus</i> sp.	1	0,01 %
	Spariformes			Spariformes indet.	1	0,01 %
			Sparidae	Sparidae indet.	6	0,03 %
				<i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i>	6	0,03 %
	Chaetodontiformes		Chaetodontidae	Chaetodontidae indet.	4	0,03 %
			Leiognathidae	<i>Leiognathoides</i> cf. <i>L. altapinna</i>	1	0,01 %
	Lophiiformes	Lophioidei	Lophiidae	Lophiidae indet.	2	0,01 %
	Centrarchiformes	Terapontoidei	Kyphosidae	cf. <i>Microcanthus</i> sp.	6	0,04 %
	Perciformes			Perciformes indet.	306	2,14 %
		Serranoidei	Serranidae	Serranidae indet.	288	2,02 %
				<i>Oliganodon</i> sp.	42	0,29 %
				<i>Oliganodon budensis</i>	142	0,99 %
				<i>Reproca</i> sp.	3	0,02 %
				<i>Reproca sabbai</i>	2	0,01 %
		Percoidei	Trachinidae	Trachinidae indet.	1	0,01 %
				<i>Trachinus</i> sp.	8	0,06 %
		Scorpaenoidei	Scorpaenidae	Scorpaenidae indet.	12	0,07 %
			Sebastidae	cf. <i>Sebastes</i> sp.	6	0,04 %
		Triglioidei	Triglidae	Triglidae indet.	10	0,07 %

Tabelle 17: Häufigkeit und Diversität der Jungfische (Teleostei).

Höheres Taxon	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil an allen Jungfischen	prozentualer Anteil innerhalb des Taxon
Teleostei	Teleostei indet.	38	5,84 %	5,46 %
Clupeiformes	Clupeidae indet.	289	44,46 %	6,72 %
	<i>"Sardinella" sardinites</i>	7	1,08 %	10,14 %
Gadiformes	<i>Palaeogadus</i> sp.	2	0,31 %	5,71 %
Percomorphaceae inc. sed.	<i>Priacanthus spinosus</i>	9	1,38 %	5,36 %
	<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	1	0,15 %	3,33 %
Syngnathiformes	Syngnathiformes indet.	26	4,00 %	68,42 %
	<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	1	0,15 %	4,00 %
	Aulostomidae indet.	4	0,62 %	16,00 %
	<i>Aulostomus medius</i>	1	0,15 %	2,00 %
	<i>Aeoliscus</i> sp.	75	11,54 %	3,31 %
	<i>Aeoliscus heinrichi</i>	5	0,77 %	10,00 %
	Syngnathidae indet.	4	0,62 %	1,58 %
	<i>Syngnathus</i> sp.	1	0,15 %	1,06 %
Scombriformes	Scombriformes indet.	2	0,31 %	0,93 %
	Gempylidae indet.	29	4,46 %	69,05 %
	<i>Propercarina</i> sp.	5	0,77 %	6,85 %
	<i>Lepidopus</i> sp.	2	0,31 %	16,67 %
	<i>Eutrichiurides delheidi</i>	1	0,15 %	7,69 %
	Scombridae indet.	9	1,38 %	5,76 %
	<i>Sarda brachycephala</i>	1	0,15 %	1,23 %
	<i>Scomberomorus</i> sp.	9	1,38 %	56,25 %
	<i>Pinichthyes</i> sp.	4	0,62 %	13,79 %
	<i>Pinichthyes pulcher</i>	4	0,62 %	10,52 %
Carangiformes	<i>Archaeus glarisianus</i>	3	0,46 %	5,46 %
Beloniformes	<i>Hemiramphus</i> sp.	3	0,46 %	4,84 %
Chaetodontiformes	Chaetodontidae indet.	2	0,31 %	40,00 %
Perciformes	Perciformes indet.	52	8,00 %	17,00 %
	Serranidae indet.	3	0,46 %	1,04 %
	<i>Oliganodon</i> sp.	1	0,15 %	2,38 %
	<i>Oliganodon budensis</i>	57	8,77 %	0,70 %
	Summe	650	100 %	-

Tabelle 18: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Tarpunartigen (Elopiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganz- körper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	-	-	-	-	-	-
Stufe 2	-	-	-	-	-	-
Stufe 3	2	-	-	-	-	2
Stufe 4	-	-	-	-	-	-
Stufe 5	-	-	-	-	-	-
Stufe 6	-	-	-	-	-	-
Stufe 7	-	-	-	-	-	-
Stufe 8	1	-	-	-	-	-
Stufe 9	-	-	-	-	-	-
Stufe 10	-	-	-	-	-	-

Tabelle. 19: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Aalartigen (Anguilliformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganz- körper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	-	-	-	-	-	-
Stufe 2	-	-	-	-	-	-
Stufe 3	1	-	-	-	-	1
Stufe 4	-	-	-	-	-	-
Stufe 5	-	-	-	-	-	-
Stufe 6	-	-	-	-	-	-
Stufe 7	-	-	-	-	-	-
Stufe 8	-	-	-	-	-	-
Stufe 9	-	-	-	-	-	-
Stufe 10	-	-	-	-	-	-

Tabelle 20: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Heringsartigen (Clupeiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	23	-	-	-	-	23
Stufe 2	2	-	-	-	-	2
Stufe 3	401	-	-	-	-	401
Stufe 4	1935	-	-	-	-	1935
Stufe 5	50	-	34	14	2	-
Stufe 6	19	-	-	9	10	-
Stufe 7	232	-	231	1	-	-
Stufe 8	287	-	2	122	163	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	11.581	11.581	-	-	-	-

Tabelle 21: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Dorschartigen (Gadiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	9	-	-	-	-	9
Stufe 4	40	-	-	-	-	40
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	1	-	1	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 22: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Barschverwandte unsicherer taxonomischer Stellung (*Percomorphaceae inc. sed.*).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	36	-	-	-	-	36
Stufe 2	3	-	-	-	-	3
Stufe 3	89	-	-	-	-	89
Stufe 4	180	-	-	-	-	180
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	2	-	2	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	1	-	1	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	42	42	-	-	-	-

Tabelle 23: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Seenadelartigen (*Syngnathiformes*).

erhaltene Elemente		Einzel- elemente	Schädel	Schädel + Knochen- panzer	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganz- körper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	201	-	-	-	-	201
Stufe 2	59	-	-	-	-	59
Stufe 3	242	-	-	-	-	242
Stufe 4	968	-	-	-	-	968
Stufe 5	60	-	3	57	-	-
Stufe 6	414	-	110	304	-	-
Stufe 7	128	-	66	61	1	-
Stufe 8	25	-	9	16	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	119	119	-	-	-	-

Tabelle 24: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes).

erhaltene Elemente		Zähne	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	17	-	-	-	-	17
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	54	-	-	-	-	54
Stufe 4	517	-	-	-	-	517
Stufe 5	8	-	-	8	-	-
Stufe 6	42	-	3	39	-	-
Stufe 7	39	-	11	18	-	-
Stufe 8	32	-	27	5	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	80	80	-	-	-	-

Tabelle 25: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Stachelmakrelenartigen (Carangiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	12	-	-	-	-	12
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	32	-	-	-	-	32
Stufe 4	90	-	-	-	-	90
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	1	-	1	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	1	-	1	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 26: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente innerhalb der Plattfischartigen (Pleuronectiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	5	-	-	-	-	5
Stufe 4	26	-	-	-	-	26
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 27: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Hornhechtartigen (Beloniformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	22	-	-	-	-	22
Stufe 4	44	-	-	-	-	44
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	10	-	10	-	-	-
Stufe 7	1	-	1	-	-	-
Stufe 8	1	-	1	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	2	2	-	-	-	-

Tabelle 28: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Spatenfischartigen (Ephippiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Kiefer	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	2	-	-	-	-	2
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	0	-	-	-	-	-
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 29: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Meerbrassenartigen (Spariformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Kiefer	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	2	-	-	-	-	2
Stufe 4	3	-	-	-	-	3
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	6	-	6	-	-	-
Stufe 7	2	-	2	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 30: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Falterfischartigen (Chaetodontiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Kiefer	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	1	-	-	-	-	1
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	2	-	-	-	-	2
Stufe 4	2	-	-	-	-	2
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 31: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Armflosser (Lophiiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Kiefer	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	2	-	-	-	-	2
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 32: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Sonnenbarschartigen (Centrarchiformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Kiefer	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	1	-	-	-	-	1
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	3	-	-	-	-	3
Stufe 4	2	-	-	-	-	2
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 33: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Barschartigen (Perciformes).

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	70	-	-	-	-	70
Stufe 2	23	-	-	-	-	23
Stufe 3	182	-	-	-	-	182
Stufe 4	612	-	-	-	-	612
Stufe 5	1	-	-	1	-	-
Stufe 6	4	-	2	2	-	-
Stufe 7	7	-	6	1	-	-
Stufe 8	2	-	2	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	33	33	-	-	-	-

Tabelle 34: Knochenfische (Teleostei) mit der absoluten Häufigkeit und den rezenten Vergleichstaxa mit deren Lebensraum, Verbreitung und Klimazone.

Fischschiefer-Taxon	Abundanz	rezentes Vergleichstaxon	Lebensraum (rezent)	Verbreitung (rezent)	Klimazone (rezent)	Fortpflanzung (rezent)	Literaturverweis
Elopidae indet.	3	<i>Elops saurus</i> LINNAEUS 1766	marin	pelagisch küstennah	subtropisch	Lagunen hypersaline Buchten	MAXWELL et al. 2016 ROBINS & RAY 1986
<i>Deutschenchelys micklichi</i>	1	<i>Moringua abbreviata</i> BLEEKER 1863	marin	pelagisch Riffe/Bioherme 1 - 40 m u. NN	subtropisch bis tropisch		MAXWELL et al. 2016 MASUDA et al. 1984
Clupeidae indet. a	4295	<i>Sardinella aurita</i> VALENCIENNES 1847	marin brackisch	pelagisch offshore bis 350 m u. NN	subtropisch	küstennah Lagunen Flussmündungen	MAXWELL et al. 2016 WHITEHEAD 2005
Clupeidae indet. b		<i>Sardinella melanura</i> CUVIER 1829	marin	küstennah pelagisch bis 50 m u. NN	tropisch		
" <i>Sardinella</i> " <i>sardinites</i>	69	<i>Spratelloides gracilis</i> TEMMINCK & SCHLEGEL 1846	marin	pelagisch küstennah Lagunen bis 40 m u. NN	tropisch		
Veliferidae indet.	4	<i>Metavelifer multiradiatus</i> REGAN 1907	marin	benthopelagisch 40 - 240 m u. NN	gemäßigt		MAXWELL et al. 2016 HEEMSTRA 1986
Gadiformes indet.	9						MAXWELL et al. 2016 COHEN et al. 1990
Gadidae indet.	5						
<i>Palaeogadus</i> sp.	35						
<i>Palaeogadus</i> cf. <i>P. intergerinus</i>	2	<i>Gadus morhua</i> LINNAEUS 1758	marin brackisch	benthopelagisch küstennah bis shoreface 150 - 250 m u. NN	subpolar bis gemäßigt	Flachwasser Seegraswiesen	
Ophidiidae indet.	1	<i>Brotula barbata</i> BLOCH & SCHNEIDER 1801	marin	benthopelagisch Riffe/Bioherme 50 - 300 m u. NN	subtropisch	Riffe	MAXWELL et al. 2016 NIELSEN et al. 1999
<i>Palaeorhynchus</i> sp.	20						MAXWELL et al. 2016 NAKAMURA 1985
<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P.</i>	30	<i>Xiphias gladius</i> LINNAEUS	marin	pelagisch	subtropisch	> 24 °C	

<i>glarisianus</i>		1758		bis 800 m u. NN			
<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. zitteli</i>	?	<i>Istiophorus albicans</i> LATREILLE 1804	marin	pelagisch bis 200 m u. NN	subtropisch		
<i>Capros</i> sp.	22						QUÉRO 1986 MUNDY 2005 MAXWELL et al. 2016
<i>Capros caprosoides</i>	7	<i>Capros aper</i> LINNAEUS 1758	marin	intertidal 40 - 700 m u. NN	subtropisch		
<i>Proantigonia</i>	1	<i>Antigonia eos</i> GILBERT 1905	marin	benthopelagisch bis 300 m u. NN	subtropisch		
<i>Priacanthus</i> sp.	29						MAXWELL et al. 2016 STARNES 1988
<i>Priacanthus spinosus</i>	168	<i>Pristigenys serrula</i> GILBERT 1891	marin	intertidal Riffe/Bioherme 5 - 100 m u. NN	subtropisch	ovipar	
Aulostomidae indet.	25			Seegraswiesen			MAXWELL et al. 2016 FRITZSCHE 1984
<i>Aulostomus</i> sp.	1						
<i>Aulostomus medius</i>	50	<i>Aulostomus maculatus</i> VALENCIENNES 1841	marin	benthopelagisch intertidal Riffe/Bioherme 2 - 25 m u. NN	tropisch	pelagisch	
<i>Frauenweilerstomus</i> sp.	6						
<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	25	<i>Aulostomus strigosus</i> WHEELER 1955	marin	benthopelagisch intertidal Riffe/Bioherme 5 - 25 m u. NN	tropisch		
<i>Aeoliscus</i> sp.	2265			Seegraswiesen			MAXWELL et al. 2016 KUITER 2001
<i>Aeoliscus heinrichi</i>	9	<i>Aeoliscus strigatus</i> GÜNTHER 1861	marin	benthopelagisch intertidal Riffe/Bioherme 2 - 42 m u. NN	tropisch	pelagische Larven	
<i>Aeoliscus distinctus</i>	50	<i>Aeoliscus punctulatus</i> BIANCONI 1855	marin	benthopelagisch intertidal Riffe/Bioherme	tropisch		
Syngnathidae indet.	253			Seegraswiesen			MAXWELL et al. 2016

<i>Syngnathus</i> sp.	94						DAWSON 1986
<i>Syngnathus</i> cf. <i>S. incompletus</i>	3	<i>Syngnathus abaster</i> RISSO 1827	marin Brackwasser Süßwasser	benthopelagisch intertidal Riffe/Bioherme bis 5 m u. NN	subtropisch		
<i>Doryrhamphus</i> sp.	23	<i>Dunckerocampus dactyliophorus</i> BLEEKER 1853	marin	benthopelagisch küstennah Riffe/Bioherme 5 - 56 m u. NN	tropisch		MAXWELL et al. 2016 MYERS 1991
<i>Microphis</i> sp.	2	<i>Microphis brachyurus aculeatus</i> KAUP 1856	marin Brackwasser Süßwasser	benthopelagisch küstennah Flussmündungen	tropisch	ovovivipar	MAXWELL ET AL. 2016 DAWSON 1986
<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>O. gracilis</i>	4	<i>Aulostomus chinensis</i> LINNAEUS 1766	marin	intertidal benthopelagisch 3 - 122 m u. NN	tropisch		MAXWELL et al. 2016 FRITZSCHE 1984
Gempylidae indet.	42	<i>Diplospinus multistriatus</i> MAUL 1948 <i>Neoepinnula orientalis</i> GILCHRIST & VON BOND 1924	marin marin	pelagisch subtidal 50 - 1000 m u. NN pelagisch subtidal 200 - 750 m u. NN			MAXWELL et al. 2016 NAKAMURA & PARIN 1993
<i>Musculopedunculus micklichi</i>	1	<i>Evoxymetopon taeniatum</i> GILL 1863	marin	benthopelagisch subtidal 100 - 200 u. NN			MAXWELL et al. 2016 NAKAMURA & PARIN 1993
<i>Abadzekhia</i> sp.	9						MAXWELL et al. 2016 NAKAMURA & PARIN 1993
<i>Abadzekhia</i> cf. <i>marinae</i>	4	<i>Revettus preziosus</i> COCCO 1833	marin				MAXWELL et al. 2016 NAKAMURA & PARIN 1993
<i>Propercarina</i> sp.	73	<i>Amarsipus carlsbergi</i> HAEDRICH 1969	marin	pelagisch subtidal 30 - 130 m u. NN	tropisch		MAXWELL et al. 2016 NAKAMURA & PARIN 1993
Trichiuridae indet.	66						
<i>Lepidopus</i> sp.	12	<i>Lepidopus caudatus</i> EUPHRASEN 1788	marin	subtidal 42 - 620 m u. NN		pelagische Larven	MAXWELL ET AL. 2016 NAKAMURA & PARIN 1993
<i>Anenchelum</i> sp.	19	<i>Caranx sexfaciatus</i> QUOY &	marin	küstennah	tropisch	küstennah	MAXWELL et al. 2016

10. ANHANG

		GAIMARD 1825	Brackwasser Süßwasser	bis 146 m u. NN		Flüsse	NAKAMURA & PARIN 1993
<i>Eutrichiurides delheidi</i>	13						
Scombridae indet.	156						
<i>Auxides</i> sp.	12	<i>Scomber japonicus</i> HOULTUYN 1782	marin	pelagisch supratidal bis subtidal bis 300 m u. NN	subtropisch	pelagische Eier und Larven	MAXWELL ET AL. 2016 COLLETTE & NAUEN 1983
<i>Scomber</i> sp.	12	<i>Scomber scombrus</i> LINNAEUS 1758	marin Brackwasser	pelagisch küstennah bis 1000 m u. NN	gemäßigt		COLLETTE & NAUEN 1983
<i>Scomberomorus</i> sp.	16						MAXWELL et al. 2016 COLLETTE & NAUEN 1983
<i>Scomberomorus lingulatus</i>	3	<i>Scomberomorus commerson</i> LACEPÈDE 1800	marin	pelagisch supratidal bis subtidal 10 - 70 m u. NN	tropisch		
<i>Sarda brachycephala</i>	81	<i>Sarda sarda</i> BLOCH 1793	marin Brackwasser	pelagisch 80 - 200 m u. NN	subtropisch		MAXWELL et al. 2016 COLL. & NAUE.1983
<i>Neocybium</i> sp.	3	<i>Scomberomorus sinensis</i> LACEPÈDE 1800	marin Brackwasser Süßwasser	pelagisch > 10 m u. NN	subtropisch		MAXWELL et al. 2016 COLLETTE & NAUEN 1983
cf. <i>Sphyraenodus</i> sp.	1	<i>Sarda chilensis</i> CUVIER 1831	marin	pelagisch bis 100 m u. NN	subtropisch		MAXWELL et al. 2016 COLLETTE & NAUEN 1983
<i>Pinichthyes</i> sp.	29						MAXWELL et al. 2016 AGAFONOVA 1994
<i>Pinichthyes pulcher</i>	38	<i>Cubiceps nanus</i> AGAFONOVA 1988	marin	pelagisch bis 45 m u. NN	tropisch		
<i>Rybapina</i> cf. <i>R. caucasica</i>	3	<i>Cubiceps capensis</i> SMITH 1845	marin	pelagisch bis 140 m u. NN	gemäßigt bis tropisch		MAXWELL et al. 2016 AGAFONOVA 1994
cf. <i>Sphyraena</i> sp.	2	<i>Sphyraena barracuda</i> EDWARDS 1771	marin Brackwasser	intertidal bis offshore Riffe/Bioherme bis 100 m u. NN	subtropisch		MAXWELL et al. 2016 DAGET 1986
<i>Archaeus</i> sp.	55	<i>Caranx</i>	marin	küstennah bis offshore Flussmündungen Riffe/Bioherme	subtropisch bis tropisch		MAXWELL et al. 2016 PAXTON et al. 1989
<i>Archaeus glarisianus</i>	55						

				bis 350 m u. NN			
<i>Seriola multiradiata</i>	6	<i>Seriolina nigrofasciata</i> RÜPPEL 1829	marin Brackwasser	Riffe/Bioherme 10 - 150 m u. NN	tropisch	Mangroven Estuare Riffe	MAXWELL et al. 2016 PAXTON et al. 1989
Echeneidae indet.	1						MAXWELL et al. 2016
<i>Echeneis</i> sp.	2	<i>Remora remora</i> LINNAEUS 1758	marin	bis 200 m u. NN	subtropisch		LACHNER & POST 1990
Pleuronectiformes indet.	18						MAXWELL et al. 2016
<i>Oligoscoptthalmus</i> <i>weissi</i>	3	<i>Scophthalmus aquosus</i> MITCHILL 1815	marin	subtidal bis supratidal 55 - 73 m u. NN	gemäßigt		COOPER & CHAPLEAU 1998
<i>Scophthalmus</i> sp.	1						
<i>Oligopleuronectes</i> <i>germanicus</i>	2	<i>Pleuronectes platessa</i> LINNAEUS 1758		endobenthisch bis 200 m u. NN			
Beloniformes indet.	6	<i>Belone belone</i> LINNEAUS 1761	marin Brackwasser	pelagisch	gemäßigt	ovipar	COLLETTE & PARIN 1986
Hemiramphidae indet.	1						MAXWELL ET AL. 2016
<i>Hemiramphus</i> sp.	62	<i>Hemiramphus brasiliensis</i> LINNAEUS 1758	marin	Riffe/Bioherme bis 15 m u. NN	subtropisch	Eier in Seegraswiesen	ROBINS & RAY 1986 MCBRIDE & THURMANN 2003
<i>Archaehippus</i> sp.	1	Ephippiformes	marin Brackwasser	küstennah supratidal pelagisch Flachwasser Riffe/Bioherme			
Spariformes indet.	1						MAXWELL et al. 2016
Sparidae indet.	5						BAUCHOT & HUREAU 1990
<i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i>	6	<i>Sparus aurata</i> LINNAEUS 1758	marin Brackwasser	küstennah supratidal Flussmündungen bis 150 m u. NN	subtropisch		
Chaetodontidae indet.	4	Chaetodontidae	marin Brackwasser	pelagisch	gemäßigt bis tropisch	Tholichthys- Stadium	MAXWELL et al. 2016
<i>Leiognathoides</i> cf. <i>L.</i>	1	<i>Leiognathoides equulus</i>	marin	küstennah	tropisch	Mangrovensumpf	MAXWELL et al. 2016

<i>altapinna</i>		FORSSKÅL 1775	Brackwasser Süßwasser	supratidal Flussmündungen 10 - 110 m u. NN		e Estuare Riffe	JAMES 1984
Lophiidae indet.	2	<i>Sladenia shaeferi</i> CARUSO & BULLIS 1976	marin	subtidal 900 - 1200 m u. NN			MAXWELL et al. 2016 PROKOFIEV & KUKUEV 2009
cf. <i>Microcanthus</i> sp.	6	<i>Microcanthus strigatus</i> CUVIER 1831	marin Brackwasser	benthopelagisch küstennah supratidal bis 140 m u. NN	tropisch		MAXWELL et al. 2016 RANDALL et al. 1990
Serranidae indet.	288			Seegraswiesen			MAXWELL et al. 2016 KHALAF & KRUPP 2008
<i>Oliganodon</i> sp.	42						
<i>Oliganodon budensis</i>	142	<i>Symphysanodon disii</i> KHALAF & KRUPP 2008	marin	endobenthisch bis 150 m u. NN	gemäßigt	ovovivipar pelagische Eier und Larven	
<i>Reproca</i> sp.	3						MAXWELL et al. 2016 TORTONESE 1986
<i>Reproca sabbai</i>	2	<i>Serranus scriba</i> LINNAEUS 1758	marin	pelagisch 5 - 150 m u. NN	subtropisch		
Trachinidae indet.	1						MAXWELL et al. 2016 ROUX 1990
<i>Trachinus</i> sp.	8	<i>Trachinus draco</i> LINNAEUS 1758	marin	benthopelagisch bis 150 m u. NN	subtropisch		
<i>Trachinus</i> cf. <i>T. minutus</i>							
Scorpaenidae indet.	10			Seegraswiesen			MAXWELL et al. 2016 HUREAU & LITVINENKO 1986
<i>Scorpaena</i> sp.	3	<i>Scorpaena</i>	marin	endobenthisch bis 85 m u. NN	subtropisch		
cf. <i>Sebastes</i> sp.	6	<i>Sebastes marinus</i> LINNAEUS 1758	marin	pelagisch 100 - 1000 m u. NN	gemäßigt	Fjorde Buchten	MAXWELL et al. 2016 FERNHOLM & WHEELER 1983
Triglidae indet.	10	<i>Eutrigla gurnardus</i> LINNAEUS 1758	marin	Seegraswiesen endobenthisch	gemäßigt		MAXWELL et al. 2016 BAUCHOT 1987

Tabelle 35: Vergleich der verwendeten Nomenklatur für Landwirbeltiere (Tetrapoda).

vorliegende Arbeit	WAGNER-KLETT (1919) MAYR (2000, 2004a, b, 2005, 2007a, b) ALEXANDER & FREY (2010) FREY et al. (2010) SCHÖGGL & MICKLICH (2010)	MAXWELL et al. 2016
cf. " <i>Chelonia</i> " <i>gwinneri</i>	Cheloniidae indet.	cf. " <i>Chelonia</i> " <i>gwinneri</i>
cf. <i>Trionyx</i> (<i>Platypeltis</i>) <i>posterus</i>		cf. <i>Trionyx</i> (<i>Platypeltis</i>) <i>posterus</i>
Crocodylia indet.	<i>Diplocynodon</i> sp.	
<i>Colymboides</i> ? <i>metzleri</i>	? <i>Colymboides metzleri</i>	<i>Colymboides</i> ? <i>metzleri</i>
<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. brodkorbi</i>	<i>Diomedeoides brodkorbi</i>	<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. brodkorbi</i>
<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. definitus</i>	<i>Diomedeoides lipsiensis</i>	<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. definitus</i>
<i>Eurotrochilus inexpectatus</i>	<i>Eurotrochilus inexpectatus</i>	<i>Eurotrochilus inexpectatus</i>
<i>Turnipax oechslerorum</i>	<i>Turnipax oechslerorum</i>	<i>Turnipax oechslerorum</i>
<i>Oligocolius brevitorsus</i>	<i>Oligocolius brevitorsus</i>	<i>Oligocolius brevitorsus</i>
cf. <i>Primotrogon</i>	? <i>Primotrogon pumilio</i>	cf. <i>Primotrogon</i>
<i>Palaeotodus itardiensis</i>	<i>Palaeotodus itardiensis</i>	<i>Palaeotodus itardiensis</i>
<i>Rupelramphastoides knopfi</i>	<i>Rupelramphastoides knopfi</i>	<i>Rupelramphastoides knopfi</i>
<i>Wieslochia weissi</i>	<i>Wieslochia weissi</i>	<i>Wieslochia weissi</i>
" <i>Kaupitherium</i> cf. <i>schinzii</i> "	" <i>Halitherium</i> cf. <i>schinzii</i> "	" <i>Halitherium</i> cf. <i>schinzii</i> "
cf. <i>Myotis horaceki</i>		cf. <i>Myotis horaceki</i>
<i>Apterodon rauenbergensis</i>	<i>Apterodon rauenbergensis</i>	<i>Apterodon rauenbergensis</i>

Tabelle 36: Häufigkeit und Diversität der Landwirbeltiere (Tetrapoda).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Tetrapoda indet.				Tetrapoda indet.	1	1,12 %
"Reptilia"	Testudinata			Testudinata indet.	12	13,48 %
		Cryptodira	Cheloniidae	Cheloniidae indet.	8	8,99 %
				cf. " <i>Chelonia</i> " <i>gwinneri</i>	6	6,74 %
			Trionychidae	Trionychidae indet.	1	1,12 %
				cf. <i>Trionyx</i> (<i>Platypeltis</i>) <i>posterus</i>	1	1,12 %
	Crocodylia			Crocodylia indet.	1	1,12 %
Aves				Aves indet.	30	33,7 %
	Gaviiformes		Gaviidae	<i>Colymboides</i> ? <i>metzleri</i>	1	1,12 %
	Procellariiformes			Procellariiformes indet.	2	2,24 %
			Diomedeoididae	<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. brodkorbi</i>	8	8,99 %
				<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. definitus</i>	2	2,24 %

	Apodiformes		Trochilidae	<i>Eurotrochilus inexpectatus</i>	4	4,49 %
	Charadriiformes		Turnicidae	<i>Turnipax oechslerorum</i>	1	1,12 %
	Coliiformes		Coliidae	<i>Oligocolius brevitaris</i>	1	1,12 %
	Trogoniformes		Trogonidae	cf. <i>Primotrogon</i>	1	1,12 %
	Coraciiformes		Todidae	<i>Palaeotodus itardiensis</i>	2	2,24 %
	Piciformes		Picidae	<i>Rupelramphastoides knopfi</i>	2	2,24 %
	Passeriformes			<i>Wieslochia weissi</i>	1	1,12 %
Mammalia	Sirenia		Dugongidae	Dugongidae indet.	1	1,12 %
				<i>"Kaupitherium cf. schinzii"</i>	1	1,12 %
	Chiroptera	Microchiroptera	Vespertilionidae	cf. <i>Myotis horaceki</i>	1	1,12 %
	Creodonta		Hyaeonodontidae	<i>Apterodon rauenbergensis</i>	1	1,12 %

Tabelle 37: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Landwirbeltiere (Tetrapoda).

erhaltene Elemente		Einzelelemente	Schädel	Extremitäten	Knochenpanzer	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt						
Stufe 1	1	-	-	-	-	-	1
Stufe 2	1	-	-	-	-	-	1
Stufe 3	3	-	-	-	-	-	3
Stufe 4	30	-	-	-	-	-	30
Stufe 5	6	1	-	4	1	-	-
Stufe 6	9	-	-	6	3	-	-
Stufe 7	5	-	1	2	2	-	-
Stufe 8	6	1	2	2	1	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-	-
Stufe 10	27	22	-	-	5	-	-

Tabelle 38: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Taxa (Anzahl/m²).

Taxon	Schicht	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33
Phycophyta indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,2	0,2	0,4	-	1,1	0,2	-	0,5
Coniferopsida indet.		0,5	-	-	-	-	0,5	-	-	0,2	-	-	-	0,2	-	0,2	0,4	-
Cupressaceae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetraclinis</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinus</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Magnoliopsida indet.		1,0	1,0	-	2,5	2,0	3,0	3,5	-	1,6	1,1	0,7	-	0,2	0,2	1,3	1,8	1,3
Salicaceae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,2	0,4	-
Lauraceae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Juglandaceae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Zosteraceae indet.		0,5	0,5	5,0	11,5	7,5	10,5	19,5	-	-	0,9	2,0	-	-	2,2	3,8	3,3	2,9
Arecales indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Platanaceae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myrica</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastropoda indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bivalvia indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nucula</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insecta indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-
Coleoptera indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Zygoptera indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vertebrata indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Clupeidae indet.		0,5	1,0	2,0	1,5	0,5	-	1	-	5,4	4,9	3,1	2,2	4,3	8,8	9,4	3,9	5,1
<i>Priacanthus spinosus</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Syngnathiformes indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,2	-
Syngnathidae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aeoliscus</i> sp.		7,0	1,5	5,5	3,5	3,0	4,0	6,5	-	3,8	3,8	2,0	2,5	1,8	3,8	7,3	2,4	1,7
Aulostomidae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	0,2	-	-	-
Scombriformes indet.		-	-	-	0,5	0,5	0,5	-	-	0,2	-	0,2	0,2	-	0,2	-	0,4	-
Trichiuridae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scomberomorus</i> sp.		-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lepidopus</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perciformes indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
Tetrapoda indet.		-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 38: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Taxa (Anzahl/m²).

Schicht Taxon	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
Phycophyta indet.	0,5	0,1	0,7	0,2	0,2	3,5	1,0	1,7	0,3	0,3	0,3	0,7	-	0,2	-	-	-
Coniferopsida indet.	-	-	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,9	0,9	2,5	0,3	-	-	-	-	-	0,2
Cupressaceae indet.	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetraclinis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,2	0,2
<i>Pinus</i> sp.	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnoliopsida indet.	1,3	-	0,2	0,4	1,4	1,3	2,7	2,5	0,2	-	1,3	1,3	0,3	0,7	1,0	0,7	0,6
Salicaceae indet.	-	-	-	0,1	0,1	0,2	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Lauraceae indet.	-	-	-	-	0,1	-	0,2	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Juglandaceae indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zosteraceae indet.	2,9	0,2	0,7	0,9	3,6	16,0	15,7	24,2	15,3	41,9	25,9	30,5	10,7	3,8	0,7	1,2	2,8
Arecales indet.	-	-	-	0,1	0,1	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Platanaceae indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myrica</i> sp.	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-
Gastropoda indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-
Bivalvia indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-
<i>Nucula</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insecta indet.	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera indet.	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zygoptera indet.	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vertebrata indet.	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clupeidae indet.	5,1	2,4	13,9	6,9	10,2	13,3	27,1	14,3	5,2	5,2	1,2	8,3	-	2,4	4,0	3,6	4,8
<i>Priacanthus spinosus</i>	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Syngnathiformes indet.	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-
Syngnathidae indet.	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aeoliscus</i> sp.	1,7	3,5	6,3	6,7	9,4	8,6	10,6	9,8	12,9	14,1	1,9	5,9	1,5	3,8	1,2	0,2	-
Aulostomidae indet.	-	-	0,1	0,3	-	0,1	0,2	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scombriformes indet.	-	0,1	0,3	0,1	0,1	0,5	2,9	1,2	0,3	0,6	1,2	1,0	-	-	-	0,4	0,2
Trichiuridae indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
<i>Scomberomorus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lepidopus</i> sp.	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perciformes indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Tetrapoda indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 38: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Taxa (Anzahl/m²).

Taxon	Schicht	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Phycophyta indet.		-	-	-	0,9	-	-	-	0,7	1,9	-	-	1,0	0,3	-	1,7	-
Coniferopsida indet.		-	0,3	-	-	-	-	0,9	1,9	1,3	0,7	-	-	-	-	-	-
Cupressaceae indet.		-	-	-	-	-	-	0,2	0,7	-	-	-	-	-	-	-	1,1
<i>Tetraclinis</i> sp.		-	-	0,2	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinus</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnoliopsida indet.		0,7	3,1	1,3	2,5	-	5,6	5,8	7,1	0,7	-	0,3	1,0	1,0	-	2,2	6,7
Salicaceae indet.		-			0,2	-	1,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
Lauraceae indet.		-	0,2	0,4	0,3	-	1,7	0,2	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Juglandaceae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zosteraceae indet.		1,6	2,4	9,8	30,5	46,5	40,7	28,1	9,0	1,3	0,7	-	0,7	-	-	10,6	40,6
Arecales indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Platanaceae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myrica</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastropoda indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bivalvia indet.		-	-	0,3	0,3	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nucula</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insecta indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zygoptera indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vertebrata indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clupeidae indet.		0,9	2,1	2,4	0,5	0,7	1,9	2,8	1,9	5,2	0,7	1,4	4,4	8,4	1,7	-	0,6
<i>Priacanthus spinosus</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Syngnathiformes indet.		-	-	-	-	-	0,3	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Syngnathidae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aeoliscus</i> sp.		-	-	-	-	-	-	2,4	27,1	15,5	4,5	0,3	0,7	0,3	-	-	0,6
Aulostomidae indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scombriformes indet.		0,2	-	-	0,6	-	1,1	1,3	0,7	0,7	0,7	-	0,3	0,7	1,1	-	0,6
Trichiuridae indet.		-	-	-	-	-		0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scomberomorus</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lepidopus</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perciformes indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
Tetrapoda indet.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 39: Vertikale Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente der Pflanzenfossilien (Anzahl/m²).

Stratigraphie	erhaltenes Element Taxon	Lager	Blätter	Fruchtifikationen	Holz/Fusit	Fragmente
Schicht 49	Embryophyta indet.	-	-	-	-	14,5
	Spermatophytina indet.	-	-	-	11,5	-
	Coniferopsida indet.	-	0,5	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,0	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,5	-	-	-
Schicht 48	Embryophyta indet.	-	-	-	-	9,0
	Spermatophytina indet.	-	-	-	11,5	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,0	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,5	-	-	-
Schicht 47	Embryophyta indet.	-	-	-	-	4,0
	Spermatophytina indet.	-	-	-	11,5	-
	Zosteraceae indet.	-	5,0	-	-	-
Schicht 46	Embryophyta indet.	-	-	-	-	6,0
	Spermatophytina indet.	-	-	-	24,5	-
	Magnoliopsida indet.	-	2,5	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	11,5	-	-	-
Schicht 45	Embryophyta indet.	-	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	11,0	-
	Magnoliopsida indet.	-	4,0	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	7,5	-	-	-
Schicht 44	Embryophyta indet.	-	-	-	-	6,5
	Spermatophytina indet.	-	-	-	19,5	-
	Coniferopsida indet.	-	0,5	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	3,0	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	10,5	-	-	-
Schicht 43	Embryophyta indet.	-	-	-	-	6,5
	Spermatophytina indet.	-	-	-	19,5	-
	Magnoliopsida indet.	-	3,5	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	19,5	-	-	-
	Juglandaceae indet.	-	0,5	-	-	-
Schicht 41	Embryophyta indet.	-	-	-	-	5,1
	Phycophyta indet.	0,7	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	10,7	-
	Coniferopsida indet.	-	0,2	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,6	-	-	-

	Zosteraceae indet.	-	0,7	-	-	-
Schicht 40	Embryophyta indet.	-	-	-	-	6,7
	Phycophyta indet.	0,2	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	8,2	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,1	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,9	-	-	-
Schicht 39	Embryophyta indet.	-	-	-	-	2,9
	Phycophyta indet.	0,2	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	5,3	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,7	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	2,0	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 38	Embryophyta indet.	-	-	-	-	1,8
	Phycophyta indet.	0,2	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	5,1	-
Schicht 37	Embryophyta indet.	-	-	-	-	4,7
	Spermatophytina indet.	-	-	-	5,6	-
	Coniferopsida indet.	-	0,2	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 36	Embryophyta indet.	-	-	-	-	3,1
	Phycophyta indet.	1,1	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	10,0	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	2,2	-	-	-
Schicht 35	Embryophyta indet.	-	-	-	-	15,3
	Phycophyta indet.	0,2	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	9,6	-
	Coniferopsida indet.	-	-	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	3,8	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 34	Embryophyta indet.	-	-	-	-	12,0
	Spermatophytina indet.	-	-	-	4,0	-
	Coniferopsida indet.	-	0,4	-	-	-
	<i>Pinus</i> sp.	-	0,2	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,8	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	3,3	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,4	-	-	-

Schicht 33	Embryophyta indet.	-	-	-	-	14,7
	Phycophyta indet.	0,4	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	7,6	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	2,9	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 32	Embryophyta indet.	-	-	-	-	5,7
	Phycophyta indet.	0,1	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	5,7	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,8	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 31	Embryophyta indet.	-	-	-	-	6,5
	Phycophyta indet.	0,1	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	6,1	-
	Coniferopsida indet.	-	0,1	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,7	-	-	-
Schicht 30	Embryophyta indet.	-	-	-	-	9,4
	Phycophyta indet.	0,2	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	8,7	-
	Coniferopsida indet.	-	0,3	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,4	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,8	-	-	-
	Arecales indet.	-	-	-	0,1	-
	Salicaceae indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 29	Embryophyta indet.	-	-	-	-	11,7
	Phycophyta indet.	0,2	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	0,3	30,2	-
	Coniferopsida indet.	-	0,1	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,4	-	-	-
	Lauraceae indet.	-	0,1	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	3,6	-	-	-
	Arecales indet.	-	0,1	-	-	-
	<i>Phragmites</i> sp.	-	0,1	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,1	-	-	-
	<i>Myrica</i> sp.	-	0,1	-	-	-
Schicht 28	Embryophyta indet.	-	-	-	-	43,7
	Phycophyta indet.	3,6	-	-	-	-

	Spermatophytina indet.	-	-	-	32,3	-
	Coniferopsida indet.	-	0,3	-	-	-
	<i>Pinus</i> sp.	-	-	-	-	0,1
	Magnoliopsida indet.	-	1,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	16,0	-	-	-
Schicht 27	Embryophyta indet.	-	-	-	-	57,9
	Phycophyta indet.	1,0	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	21,6	-
	Coniferopsida indet.	-	0,3	-	-	-
	Cupressaceae indet.	-	-	-	-	0,2
	Magnoliopsida indet.	-	2,7	-	-	-
	Lauraceae indet.	-	0,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	15,7	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 26	Embryophyta indet.	-	-	-	-	78,6
	Phycophyta indet.	1,7	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	23,0	-
	Magnoliopsida indet.	-	2,5	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	24,2	-	-	-
	Arecales indet.	-	0,2	-	-	-
Schicht 25	Embryophyta indet.	-	-	-	-	41,7
	Phycophyta indet.	0,3	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	11,6	-
	Coniferopsida indet.	-	0,9	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	15,3	-	-	-
	Lauraceae indet.	-	0,3	-	-	-
Schicht 24	Embryophyta indet.	-	-	-	-	41,0
	Phycophyta indet.	0,3	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	11,6	-
	Coniferopsida indet.	-	2,5	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	2,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	41,9	-	-	-
	Platanaceae indet.	-	0,3	-	-	-
	Myricaceae indet.	-	0,3	-	-	-
Schicht 23	Embryophyta indet.	-	-	-	-	27,5
	Phycophyta indet.	0,3	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	7,5	-

	Coniferopsida indet.	-	0,3	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	26,2	-	-	-
Schicht 22	Embryophyta indet.	-	-	-	-	25,6
	Phycophyta indet.	0,7	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	10,4	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,0	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	30,5	-	-	-
Schicht 21	Embryophyta indet.	-	-	-	-	13,3
	Spermatophytina indet.	-	-	-	3,3	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	10,7	-	-	-
Schicht 20	Embryophyta indet.	-	-	-	-	8,7
	Phycophyta indet.	0,2	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	6,1	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,7	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	3,8	-	-	-
Schicht 19	Embryophyta indet.	-	-	-	-	6,7
	Spermatophytina indet.	-	-	-	8,4	-
	<i>Tetraclinis</i> sp.	-	-	0,3	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,0	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,7	-	-	-
Schicht 18	Embryophyta indet.	-	-	-	-	7,9
	Spermatophytina indet.	-	-	-	7,0	-
	<i>Tetraclinis</i> sp.	-	-	0,2	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	10,6	0,2	-	-
	Zosteraceae indet.	-	1,2	-	-	-
Schicht 17	Embryophyta indet.	-	-	-	-	10,2
	Spermatophytina indet.	-	-	-	3,7	-
	Coniferopsida indet.	-	0,2	-	-	-
	<i>Tetraclinis</i> sp.	-	-	0,2	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,6	-	-	-
	Lauraceae indet.	-	0,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	2,8	-	-	-
Schicht 16	Embryophyta indet.	-	-	-	-	7,5
	Spermatophytina indet.	-	-	-	3,7	-
	Magnoliopsida indet.	-	0,7	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	1,6	-	-	-

Schicht 15	Embryophyta indet.	-	-	-	-	20,3
	Spermatophytina indet.	-	-	0,3	4,3	-
	Coniferopsida indet.	-	0,3	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	3,1	-	-	-
	Lauraceae indet.	-	0,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	2,4	-	-	-
Schicht 14	Embryophyta indet.	-	-	-	-	17,5
	Spermatophytina indet.	-	-	-	2,6	-
	<i>Tetraclinis</i> sp.	-	-	0,2	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,3	-	-	-
	Lauraceae indet.	-	0,4	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	9,8	-	-	-
Schicht 13	Embryophyta indet.	-	-	-	-	37,4
	Phycophyta indet.	0,9	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	17,1	-
	Magnoliopsida indet.	-	2,5	-	-	-
	Lauraceae indet.	-	0,3	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	30,5	-	-	-
Schicht 12	Embryophyta indet.	-	-	-	-	56,8
	Spermatophytina indet.	-	-	-	29,0	-
	Zosteraceae indet.	-	46,5	-	-	-
Schicht 11	Embryophyta indet.	-	-	-	-	59,3
	Spermatophytina indet.	-	-	-	17,4	-
	<i>Tetraclinis</i> sp.	-	-	0,3	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	5,3	0,3	-	-
	Lauraceae indet.	-	1,7	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	1,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	40,7	-	-	-
Schicht 10	Embryophyta indet.	-	-	-	-	29,4
	Spermatophytina indet.	-	-	-	21,5	-
	Coniferopsida indet.	-	0,9	-	-	-
	Cupressaceae indet.	-	0,2	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	2,8	0,2	-	2,8
	Lauraceae indet.	-	0,2	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	28,1	-	-	-
Schicht 9	Embryophyta indet.	-	-	-	-	102,6

	Phycophyta indet.	0,7	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	29,1	-
	Coniferopsida indet.	-	1,9	-	-	-
	Cupressaceae indet.	-	0,7	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	5,2	-	-	1,9
	Lauraceae indet.	-	1,3	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	9,0	-	-	-
Schicht 8	Embryophyta indet.	-	-	-	-	44,5
	Phycophyta indet.	1,9	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	28,4	-
	Coniferopsida indet.	-	1,3	-	-	-
	Magnoliopsida indet.	-	-	-	-	0,7
	Zosteraceae indet.	-	1,3	-	-	-
Schicht 7	Embryophyta indet.	-	-	-	-	12,9
	Spermatophytina indet.	-	-	-	5,2	-
	Coniferopsida indet.	-	0,7	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,7	-	-	-
Schicht 6	Embryophyta indet.	-	-	-	-	4,4
	Spermatophytina indet.	-	-	-	1,0	-
	Magnoliopsida indet.	-	-	-	-	0,3
Schicht 5	Embryophyta indet.	-	-	-	-	11,5
	Phycophyta indet.	1,0	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	3,4	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,0	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	0,7	-	-	-
Schicht 4	Embryophyta indet.	-	-	-	-	8,5
	Phycophyta indet.	0,3	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	1,4	-
	Magnoliopsida indet.	-	1,0	-	-	-
Schicht 3	Embryophyta indet.	-	-	-	-	7,8
Schicht 2	Embryophyta indet.	-	-	-	-	23,9
	Phycophyta indet.	1,7	-	-	-	-
	Spermatophytina indet.	-	-	-	15,0	-
	Magnoliopsida indet.	-	2,2	-	-	-
	Zosteraceae indet.	-	10,6	-	-	-
Schicht 1	Embryophyta indet.	-	-	-	-	87,8
	Spermatophytina indet.	-	-	-	32,8	-
	Cupressaceae indet.	-	1,1	-	-	-

	Magnoliopsida indet.	-	6,1	0,6	-	-
	Zosteraceae indet.	-	40,6	-	-	-
	Salicaceae indet.	-	0,6	-	-	-

Tabelle 40: Vertikale Häufigkeitsverteilung der erhaltenen Elemente der Wirbellosen (Makroinvertebrata, Anzahl/m²).

Stratigraphie	Taxon	Kalzit- gehäuse	Ganzkörper	Kopf/ Extremitäten fehlen	Einzel- elemente
Schicht 35	Coleoptera indet.	-	-	-	0,2
Schicht 34	Insecta indet.	-	-	0,2	-
Schicht 29	Zygoptera indet.	-	-	0,1	-
Schicht 28	Insecta indet.	-	0,1	-	-
	Coleoptera indet.	-	-	0,1	-
Schicht 27	Insecta indet.	-	-	0,2	-
Schicht 26	<i>Nucula</i> sp.	0,2	-	-	-
Schicht 22	Bivalvia indet.	0,4	-	-	-
Schicht 19	Gastropoda indet.	0,2	-	-	-
Schicht 18	Gastropoda indet.	0,2	-	-	-
Schicht 14	Bivalvia indet.	0,3	-	-	-
Schicht 13	Bivalvia indet.	0,3	-	-	-
Schicht 9	Bivalvia indet.	0,7	-	-	-
Schicht 8	Insecta indet.	-	-	0,6	-

Tabelle 41: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Knorpelfische (*Chondrichthyes*, Anzahl/m²).

Stratigraphie	Taxon	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	7. Stufe	8. Stufe	9. Stufe	10. Stufe
Schicht 48	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0
Schicht 47	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0
Schicht 46	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,5
Schicht 45	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0
Schicht 44	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,5
Schicht 43	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Schicht 41	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,3
Schicht 39	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
	<i>Physogaleus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Schicht 38	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3
Schicht 37	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3
Schicht 36	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,9
Schicht 35	Lamniformes indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,1
Schicht 34	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4
Schicht 33	Lamniformes indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2
	<i>Physogaleus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Schicht 32	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	2,6
Schicht 31	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	4,2
Schicht 30	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	7,5
Schicht 29	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4
Schicht 28	Lamniformes indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-
	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	10,8
Schicht 27	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,3
Schicht 26	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,2
Schicht 25	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,0
Schicht 24	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	51,0
Schicht 23	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	1,3	-	-	-	31,3
Schicht 22	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40,1
Schicht 21	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,6
Schicht 20	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	8,2
Schicht 19	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	6,4
Schicht 18	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	6,1
Schicht 17	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	7,8
Schicht 16	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,7

Schicht 15	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	16,3
Schicht 14	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,5
	Lamniformes indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Schicht 13	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	45,3
Schicht 12	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	1,3	-	-	-	61,3
Schicht 11	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	27,5
Schicht 10	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	11,6
Schicht 9	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,0
Schicht 8	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8
Schicht 7	<i>Keasius</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3

Tabelle 42: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen von unbestimmten Knochenfischen (*Teleostei* indet., Anzahl/m²).

Stratigraphie	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	7. Stufe	8. Stufe	9. Stufe	10. Stufe
Schicht 49	-	-	-	-	-	-	-	7,0	-	5,0
Schicht 48	-	-	-	-	-	-	-	5,0	-	0,5
Schicht 47	-	-	-	-	-	-	-	12,5	-	7,5
Schicht 46	-	-	-	-	-	-	-	17,5	-	17,5
Schicht 45	-	-	-	-	-	-	-	13,0	-	-
Schicht 44	-	-	-	-	-	-	-	22,0	-	7,0
Schicht 43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,5
Schicht 42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 41	-	-	-	-	-	-	-	15,1	-	2,2
Schicht 40	-	-	-	-	-	-	-	29,6	-	2,0
Schicht 39	-	-	-	-	-	-	-	17,6	-	0,7
Schicht 38	-	-	-	-	0,2	-	-	14,4	-	1,1
Schicht 37	-	-	-	-	-	-	-	29,6	-	0,7
Schicht 36	-	-	-	-	-	-	-	17,1	-	2,8
Schicht 35	-	-	-	-	-	-	-	42,0	-	2,9
Schicht 34	-	-	-	-	-	-	-	11,3	-	7,2
Schicht 33	-	-	-	3,3	-	-	0,2	16,2	-	2,9
Schicht 32	-	-	-	0,9	-	-	0,1	11,9	-	1,6
Schicht 31	-	-	-	1,6	-	-	0,1	27,4	-	1,6
Schicht 30	-	-	-	1,6	-	0,2	-	37,8	-	1,4
Schicht 29	-	-	-	7,6	-	0,1	-	98,8	-	5,4
Schicht 28	-	-	-	8,1	-	0,1	-	124,9	-	2,0
Schicht 27	-	-	-	15,9	-	-	-	105,8	-	3,8
Schicht 26	-	-	-	19,3	-	0,4	-	105,9	-	4,2

Schicht 25	-	-	-	16,0	-	-	-	105,9	-	3,4
Schicht 24	-	-	-	16,9	-	-	-	58,7	-	4,0
Schicht 23	-	-	-	5,6	-	-	-	23,8	-	1,2
Schicht 22	-	-	-	-	-	-	-	22,8	-	0,7
Schicht 21	-	-	-	5,3	-	-	-	14,8	-	0,6
Schicht 20	-	-	-	5,1	-	-	-	25,3	-	0,2
Schicht 19	-	-	-	0,4	-	-	-	88,2	-	0,4
Schicht 18	-	-	-	11,0	0,2	-	-	12,9	-	0,3
Schicht 17	-	-	-	7,1	0,2	0,2	-	27,4	-	0,3
Schicht 16	-	-	-	9,9	-	-	-	34,8	-	-
Schicht 15	-	-	-	7,3	-	-	-	26,6	-	-
Schicht 14	-	-	-	7,5	-	-	-	16,6	-	0,3
Schicht 13	-	-	-	8,0	-	-	-	32,4	-	1,5
Schicht 12	-	-	-	11,0	-	-	-	34,8	-	1,9
Schicht 11	-	-	-	12,6	-	-	-	31,5	-	2,3
Schicht 10	-	-	-	10,3	-	-	-	31,8	-	1,2
Schicht 9	-	-	-	13,6	-	-	0,7	63,2	-	-
Schicht 8	-	-	-	8,4	-	-	-	23,9	-	0,7
Schicht 7	-	-	-	5,2	-	-	-	9,7	-	-
Schicht 6	-	-	-	6,8	-	-	-	6,4	-	1,7
Schicht 5	-	-	-	23,4	-	-	-	6,4	-	0,3
Schicht 4	-	-	-	17,3	-	0,3	-	21,4	-	-
Schicht 3	-	-	3,8	-	-	-	-	8,3	-	-
Schicht 2	-	-	-	3,9	-	-	-	9,4	-	0,6
Schicht 1	-	-	-	28,3	-	-	-	32,2	-	5,0

Tabelle 43: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Heringsartigen (*Clupeiformes*, Anzahl/m²).

Stratigraphie	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	7. Stufe	8. Stufe	9. Stufe	10. Stufe
Schicht 49	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	68,5
Schicht 48	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	47,5
Schicht 47	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	122,0
Schicht 46	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	87,0
Schicht 45	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-
Schicht 44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,5
Schicht 43	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	11,5
Schicht 42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 41	-	-	-	3,6	0,7	-	1,1	-	-	9,3
Schicht 40	-	-	-	3,8	1,1	-	-	-	-	21,2
Schicht 39	-	-	-	1,3	-	-	1,8	-	-	13,3
Schicht 38	-	-	0,2	1,3	-	-	0,7	-	-	-
Schicht 37	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	2,5	0,2	-	24,2
Schicht 36	-	-	0,9	0,4	8,6	-	5,5	-	-	21,4
Schicht 35	-	-	0,4	2,2	-	0,9	5,0	0,7	-	22,0
Schicht 34	-	-	-	2,2	-	0,2	1,5	-	-	6,2
Schicht 33	-	-	-	0,2	3,1	-	-	1,6	-	2,8
Schicht 32	0,8	-	-	-	-	0,1	1,2	-	-	4,6
Schicht 31	0,1	-	-	5,8	5,6	0,9	-	-	-	7,7
Schicht 30	-	-	-	4,2	-	0,8	1,5	0,2	-	26,7
Schicht 29	-	-	-	5,0	-	3,1	1,9	0,6	-	94,4
Schicht 28	0,1	-	-	9,4	-	2,4	3,4	0,2	-	160,8
Schicht 27	-	-	-	12,1	-	11,5	3,2	0,3	-	120,8
Schicht 26	-	-	-	10,1	-	3,0	1,7	-	-	112,3
Schicht 25	0,3	-	-	2,8	-	-	1,2	-	-	54,2
Schicht 24	-	-	-	3,4	-	0,6	0,9	-	-	25,3
Schicht 23	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	14,1
Schicht 22	-	-	-	8,3	-	-	-	-	-	2,1
Schicht 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2
Schicht 20	-	-	-	2,0	-	0,4	-	-	-	44,4
Schicht 19	-	-	0,3	2,3	0,3	0,7	-	-	-	63,8
Schicht 18	-	-	2,2	0,2	-	-	-	-	-	113,6
Schicht 17	-	-	-	1,4	-	0,6	0,7	1,9	-	60,2
Schicht 16	-	-	0,2	0,7	-	-	0,2	-	-	33,1
Schicht 15	-	-	0,2	0,2	-	-	0,4	-	0,6	42,8
Schicht 14	-	-	-	2,2	-	-	-	-	-	15,0

Schicht 13	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	30,8
Schicht 12	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	53,5
Schicht 11	-	-	-	1,7	-	-	-	-	-	108,4
Schicht 10	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	112,2
Schicht 9	-	-	-	1,9	-	-	-	-	-	264,5
Schicht 8	-	-	-	3,3	-	0,7	1,3	-	-	65,2
Schicht 7	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	60,6
Schicht 6	-	-	-	1,4	-	-	-	-	-	26,1
Schicht 5	-	-	-	4,4	-	-	-	-	-	27,1
Schicht 4	-	-	-	4,8	0,3	1,9	-	-	-	15,6
Schicht 3	-	-	-	1,7	-	-	-	-	-	6,1
Schicht 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4
Schicht 1	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	15,0

Tabelle 44: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Seenadelartigen (Syngnathiformes, Anzahl/m²).

Stratigraphie	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	7. Stufe	8. Stufe	9. Stufe	10. Stufe
Schicht 49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
Schicht 48	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-
Schicht 47	-	-	-	5,5	-	-	-	-	-	5,5
Schicht 46	-	-	-	3,5	-	-	-	-	-	-
Schicht 45	-	-	-	3,0	-	-	-	-	-	-
Schicht 44	-	-	-	4,0	-	-	-	-	-	-
Schicht 43	-	-	-	6,5	-	-	-	-	-	-
Schicht 42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 41	-	-	-	3,6	0,2	-	-	-	-	-
Schicht 40	-	-	-	3,3	-	-	0,4	-	-	-
Schicht 39	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-
Schicht 38	-	-	-	0,9	0,9	-	0,7	-	-	-
Schicht 37	-	-	-	-	-	1,0	-	0,7	-	-
Schicht 36	0,4	-	0,9	0,2	1,5	-	0,7	0,2	0,2	-
Schicht 35	-	-	2,4	0,4	0,9	-	1,1	2,9	-	-
Schicht 34	-	-	-	0,6	-	-	1,1	0,7	-	-
Schicht 33	-	-	-	0,4	-	0,2	0,2	0,9	-	-
Schicht 32	-	-	-	0,2	0,2	0,7	1,0	1,5	-	-
Schicht 31	0,3	-	-	1,5	-	2,0	1,0	1,8	-	-
Schicht 30	0,2	-	-	2,1	0,1	2,0	1,1	1,7	-	-
Schicht 29	0,2	-	-	4,7	1,0	0,8	-	2,6	-	-

Schicht 28	0,3	-	-	1,1	3,1	0,9	-	3,6	-	-
Schicht 27	0,2	-	-	0,4	-	1,3	2,1	7,1	-	-
Schicht 26	0,2	-	-	2,2	0,7	1,6	0,3	5,2	-	-
Schicht 25	0,6	-	-	-	-	2,8	0,6	5,3	-	-
Schicht 24	-	-	-	2,2	0,6	2,5	0,9	7,8	-	-
Schicht 23	-	-	-	0,3	-	0,3	-	1,3	-	-
Schicht 22	-	-	-	1,0	-	-	1,7	3,1	-	-
Schicht 21	-	-	-	-	-	0,6	-	0,9	-	-
Schicht 20	-	-	0,2	0,7	0,2	-	0,2	1,8	-	-
Schicht 19	-	-	-	0,2	-	0,9	-	0,3	-	-
Schicht 18	-	-	-	0,2	-	-	-	0,2	-	-
Schicht 17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 10	-	-	-	0,2	-	0,4	-	1,9	-	-
Schicht 9	-	-	-	0,7	-	2,6	0,7	16,8	-	-
Schicht 8	-	-	-	2,6	-	1,3	0,7	11,0	-	-
Schicht 7	-	-	-	0,7	-	1,3	-	2,6	-	-
Schicht 6	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-
Schicht 5	-	-	-	0,3	-	-	-	0,3	-	-
Schicht 4	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-
Schicht 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schicht 1	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-

Tabelle 45: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Zerfallsstufen der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes, Anzahl/m²).

Stratigraphie	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	7. Stufe	8. Stufe	9. Stufe	10. Stufe
Schicht 47	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-
Schicht 46	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-
Schicht 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Schicht 44	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-
Schicht 41	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Schicht 39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Schicht 36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Schicht 34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Schicht 32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Schicht 31	-	-	-	0,1	-	-	-	0,2	-	-
Schicht 30	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-
Schicht 29	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-
Schicht 28	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,3
Schicht 27	-	-	-	-	-	2,9	-	-	-	-
Schicht 26	-	-	-	-	-	0,2	-	-	1,0	-
Schicht 25	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-
Schicht 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
Schicht 23	-	-	-	0,3	-	-	0,6	-	-	0,3
Schicht 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0
Schicht 18	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,2
Schicht 17	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,2
Schicht 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Schicht 13	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	0,3
Schicht 11	-	-	-	1,1	-	-	-	0,3	-	-
Schicht 10	-	-	-	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0,9
Schicht 9	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-
Schicht 8	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-
Schicht 5	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-
Schicht 4	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	0,3
Schicht 3	-	-	-	0,6	-	0,6	-	-	-	-
Schicht 1	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-

Tabelle 46: Vertikale Häufigkeitsverteilung der Jungfische (Teleostei, Anzahl/m²)

Taxon	Clupeidae indet.	<i>Aeoliscus</i> sp.	Scombriformes indet.	<i>Lepidopus</i> sp.
Stratigraphie				
Schicht 35	-	0,2	-	-
Schicht 32	0,3	-	-	-
Schicht 31	0,3	0,3	-	-
Schicht 30	0,1	0,2	-	0,1
Schicht 29	0,5	0,2	-	-
Schicht 28	1,4	0,4	-	-
Schicht 27	1,9	0,3	-	-
Schicht 26	1,3	0,4	-	-
Schicht 25	1,0	1,2	-	-
Schicht 24	0,3	-	-	
Schicht 20	-	0,2	-	-
Schicht 18	0,2	-	-	-
Schicht 17	0,8	-	-	-
Schicht 16	0,3	-	-	-
Schicht 15	0,3	-	-	-
Schicht 9	-	0,7	-	-
Schicht 8	1,3	-	-	-
Schicht 4	0,3	-	-	-
Schicht 3	-	-	0,6	-

Tabelle 47: Abundanz und Diversität der Taxa in der GEOW-Sammlung (Stand April 2014).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
				Embryophyta indet.	1	0,86 %
Phaeophyta			Himanthaliaceae	<i>Himanthalia</i> sp.	1	0,86 %
Coniferopsida	Coniferales		Cupressaceae	Cupressaceae indet.	2	1,72 %
Magnoliopsida				Magnoliopsida indet.	1	0,86 %
	Malpighiales		Salicaceae	Salicaceae indet.	1	0,86 %
Gastropoda				Gastropoda indet.	1	0,86 %
	Sorbeoconcha	Conoidea	Turridae	<i>Turris</i> sp.	18	15,52 %
		Cassoidea	Cassidae	<i>Cassis</i> sp.	2	1,72 %
				<i>Galeodea</i> sp.	2	1,72 %
			Clavatulidae	<i>Turricula</i> sp.	6	5,17 %
		Naticoidea	Naticidae	Naticidae indet.	1	0,86 %
Bivalvia	Pteriomorphia	Ostreoida	Ostreidae	<i>Ostrea</i> sp.	1	0,86 %
		Pectinoidea	Pectinidae	<i>Pecten</i> sp.	5	4,32 %
	Nuculoidea	Nuculoida	Nuculanidae	<i>Nucula</i> sp.	24	20,68 %
			Thyasiridae	Thyasiridae indet.	13	11,21 %
Echinodermata	Cidaroida		Cidaridae	Cidaridae indet.	1	0,86 %
	Spatangoida		Schizasteridae	Schizasteridae indet.	2	1,72 %
Malacostraca	Decapoda		Mathildellidae	<i>Coeloma taunicum</i>	26	22,41 %
Chondrichthyes	Lamniformes		Odontaspidae	<i>Carcharias cuspidata</i>	1	0,86 %
Teleostei	Clupeiformes	Clupeoidei	Clupeidae	Clupeidae indet.	5	4,32 %
	Testudinata	Cryptodira	Cheloniidae	Cheloniidae indet.	1	0,86 %
"Reptilia"	Crocodylia			Crocodylia indet.	1	0,86 %
					116	Summe

Tabelle 48: Abundanz und Diversität der Taxa in der SMNK-Sammlung (Stand Dezember 2014).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
				Embryophyta indet.	38	1,17 %
Phycophyta				Phycophyta indet.	28	0,86 %
Phaeophyta			Himanthaliaceae	<i>Himanthalia</i> sp.	1	0,03 %
Rhodophyta				Rhodophyta indet.	51	1,57 %
				Tracheophyta indet.	92	2,84 %
				Spermatophytina indet.	32	0,99 %
Ginkgoopsida	Ginkgoales		Ginkgoaceae	Ginkgoaceae indet.	1	0,03 %
Coniferopsida	Coniferales			Coniferales indet.	1	0,03 %
			Pinaceae	<i>Pinus</i> sp.	2	0,06 %
				<i>Pinus engelhardtii</i>	1	0,03 %
			Cupressaceae	Cupressaceae indet.	1	0,03 %
				<i>Taxodium</i> sp.	1	0,03 %
				Magnoliopsida indet.	16	0,49 %
Magnoliopsida	Laurales		Lauraceae	Lauraceae indet.	1	0,03 %
	Alismatales		Zosteraceae	Zosteraceae indet.	29	0,89 %
	Arecales			Arecales indet.	2	0,06 %
			Arecaceae	Arecaceae indet.	3	0,09 %
	Proteales		Platanaceae	<i>Platanus neptuni</i>	7	0,21 %
	Malpighiales		Juglandaceae	<i>Engelhardia orsbergensis</i>	5	0,15 %
			Salicaceae	Salicaceae indet.	1	0,03 %
				<i>Populus germanica</i>	2	0,06 %
	Fagales		Betulaceae	<i>Betula dryadum</i>	1	0,03 %
	Malvales		Malvaceae	<i>Craigia bronnii</i>	1	0,03 %
Gastropoda				Gastropoda indet.	5	0,15 %
	Sorbeoconcha	Conoidea	Clavatulidae	<i>Turricula</i> sp.	12	0,37 %
		Epitonioidae	Epitoniidae	? <i>Opalia</i> sp.	1	0,03 %
		Stromboidea	Aporrhaidae	Aporrhaidae indet.	2	0,06 %
				<i>Drepanocheilus</i> cf. <i>D. speciosus</i>	1	0,03 %
		Buccinoidea	Fascioliariidae	<i>Streptocheilus</i> sp.	1	0,03 %
Bivalvia				Bivalvia indet.	10	0,31 %
	Heteroconchia	Heterodonta	Cardiidae	<i>Laevicardium tenuisulcatum</i>	1	0,03 %
			Chamidae	<i>Chama weinheimensis</i>	1	0,03 %
			Hiatellidae	<i>Panopea?</i> sp.	1	0,03 %
	Pteriomorphia	Ostroida	Ostreidae	<i>Crassostrea cyathula</i>	1	0,03 %
		Arcoida	Glycymerididae	<i>Glycymeris</i> sp.	1	0,03 %

	Pterioidea		Pholadomyidae	<i>Pholadomya weissi?</i>	1	0,03 %
			Pteriidae	<i>Isognomon</i> sp.	1	0,03 %
	Nuculoidea		Nuculanidae	<i>Nucula</i> sp.	85	2,64 %
				<i>Nucula duchastelli</i>	3	0,09 %
			Tellinidae	<i>Arcopagia?</i> sp.	2	0,06 %
			Thyasiridae	Thyasiridae indet.	1	0,03 %
				<i>Thyasira benedeni</i>	8	0,25 %
			Yoldiidae	<i>Portlandia deshayesiana</i>	2	0,06 %
Echinodermata				Echinoidea indet.	6	0,18 %
	Spatangoida		Schizasteridae	? <i>Ova</i> sp.	29	0,89 %
Arachnida	Araneae		Araneae	cf. Araneae	1	0,03 %
Malacostraca				Malacostraca indet.	4	0,12 %
	Decapoda			Decapoda indet.	1	0,03 %
		Pleocyemata	Mathildellidae	Mathildellidae indet.	1	0,03 %
				<i>Coeloma taunicum</i>	2	0,06 %
Maxillopoda	Cirripedia		Balanidae	<i>Protochelonibia</i> sp.	2	0,06 %
Insecta				Insecta indet.	31	0,96 %
	Odonata	Zygoptera		Zygoptera indet.	1	0,03 %
				Calopterygidae indet.	3	0,09 %
	Neoptera	Hemiptera	Heteroptera	Heteroptera indet.	17	0,52 %
				Pentatomidae indet.	2	0,06 %
			Auchenorrhyncha	Auchenorrhyncha indet.	2	0,06 %
		Diptera		cf. Diptera	7	0,22 %
			Nematocera	Bibionidae indet.	1	0,03 %
				cf. <i>Bibio</i>	3	0,09 %
		Coleoptera		Coleoptera indet.	58	1,80 %
			Polyphaga	Curculionidea indet.	2	0,06 %
		Hymenoptera	Apocrita	Formicidae indet.	1	0,03 %
		Lepidoptera		Lepidoptera indet.	1	0,03 %
Chondrichthyes				Chondrichthyes indet.	1	0,03 %
				Selachii indet.	9	0,27 %
	Lamniformes		Odontaspidae	Odontaspidae indet.	2	0,06 %
				<i>Carcharias</i> sp.	1	0,03 %
			Lamnidae	<i>Isurolamna</i> sp.	1	0,03 %
	Myliobatiformes		Myliobatidae	<i>Weissobatis micklichi</i>	2	0,06 %
Teleostei				Teleostei indet.	446	13,85 %
	Clupeiformes	Clupeoidei	Clupeidae	Clupeidae indet.	884	27,47 %
				" <i>Sardinella</i> " <i>sardinites</i>	40	1,24 %

	Gadiformes			Gadiformes indet.	4	0,12 %
		Gadoidei	Gadidae	<i>Palaeogadus</i> sp.	24	0,75 %
	Percomorphaceae inc. sed.			Percomorphaceae indet.	71	2,21 %
			Palaeorhynchidae	<i>Palaeorhynchus</i> sp.	4	0,12 %
				<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	13	0,40 %
			Caproidae	<i>Capros</i> sp.	8	0,23 %
			Priacanthidae	Priacanthidae indet.	1	0,03 %
				<i>Priacanthus</i> sp.	7	0,20 %
				<i>Priacanthus spinosus</i>	29	0,90 %
	Syngnathiformes			Syngnathiformes indet.	20	0,62 %
			Aulostomidae	Aulostomidae indet.	3	0,09 %
				<i>Aulostomus</i> sp.	1	0,03 %
				<i>Aulostomus medius</i>	1	0,03 %
				<i>Frauenweilerstomus</i> sp.	5	0,15 %
				<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	1	0,03 %
			Centriscidae	<i>Aeoliscus</i> sp.	486	15,10 %
				<i>Aeoliscus heinrichi</i>	8	0,23 %
				<i>Aeoliscus distinctus</i>	2	0,05 %
			Syngnathidae	Syngnathidae indet.	64	1,99 %
				<i>Syngnathus</i> sp.	6	0,18 %
				<i>Syngnathus</i> cf. <i>S. incompletus</i>	3	0,09 %
				<i>Doryrhamphus</i> sp.	1	0,03 %
	Scombriformes			Scombriformes indet.	20	0,62 %
			Euzaphlegidae	<i>Palimphyas</i> sp.	2	0,06 %
		Scombroidi	Gempylidae	<i>Propercarina</i> sp.	5	0,15 %
			Trichiuridae	<i>Trichiuridae</i> indet.	4	0,12 %
				<i>Lepidopus</i> sp.	2	0,06 %
				<i>Anenchelum</i> sp.	3	0,09 %
				<i>Eutrichiurides delheidi</i>	9	0,27 %
			Scombridae	Scombridae indet.	11	0,32 %
				<i>Scomber</i> sp.	2	0,06 %
				<i>Sarda brachycephala</i>	3	0,09 %
		Stromateoidei	Stromateidae	Stromateidae indet.	3	0,09 %
				<i>Pinichthyes</i> sp.	1	0,03 %
	Carangiformes			Carangiformes indet.	3	0,09 %
		Carangoidei	Carangidae	<i>Archaeus</i> sp.	1	0,03 %
				<i>Archaeus glarisianus</i>	10	0,31 %
	Pleuronectiformes	Pleuronectoidei	Scophthalmidae	<i>Scophthalmus</i> sp.	1	0,03 %

			Pleuronectidae	Pleuronectidae indet.	10	0,31 %
	Beloniformes			Beloniformes indet.	5	0,15 %
			Hemirhamphidae	<i>Hemirhamphus</i> sp.	6	0,18 %
	Spariformes		Sparidae	Sparidae indet.	1	0,03 %
				<i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i>	3	0,09 %
	Perciformes			Perciformes indet.	243	7,55 %
		Serranoidei	Serranidae	Serranidae indet.	6	0,18 %
				<i>Oliganodon</i> sp.	27	0,84 %
				<i>Oliganodon budensis</i>	32	0,99 %
"Reptilia"	Testudinata			Testudinata indet.	4	0,12 %
		Cryptodira	Cheloniidae	Cheloniidae indet.	2	0,06 %
Aves				Aves indet.	12	0,37 %
	Procellariiformes		Diomedeoididae	<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. brodkorbi</i>	3	0,09 %
	Apodiformes		Trochiidae	<i>Eurotrochilus inexpectatus</i>	2	0,06 %
	Piciformes		Picidae	<i>Rupelramphastoides knopfi</i>	1	0,03 %
	Passeriformes			<i>Wieslochia weissi</i>	1	0,03 %
Mammalia	Creodonta		Hyaenodontidae	<i>Apterodon rauenbergensis</i>	1	0,03 %
					3218	Summe

Tabelle 49: Abundanz und Diversität der Taxa in der HLMD-Sammlung (Stand März 2015).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
				Embryophyta indet.	1	0,06 %
Phycophyta				Phycophyta indet.	3	0,18 %
				Tracheophyta indet.	3	0,18 %
				Spermatophytina indet.	3	0,18 %
Coniferopsida	Coniferales			Cupressaceae indet.	1	0,06 %
Magnoliopsida				Magnoliopsida indet.	13	0,80 %
	Laurales		Lauraceae	Lauraceae indet.	2	0,12 %
	Arecales		Arecaceae	Arecaceae indet.	1	0,06 %
	Fagales		Fagaceae	Fagaceae indet.	1	0,06 %
Gastropoda				Gastropoda indet.	3	0,18 %
	Sorbeoconcha	Stromboidea	Aporrhaidae	Aporrhaidae indet.	1	0,06 %
Bivalvia				Bivalvia indet.	5	0,31 %
Echinodermata	Spatangoida		Schizasteridae	Schizasteridae indet.	6	0,37 %
Malacostraca	Decapoda			Decapoda indet.	2	0,12 %
Insecta				Insecta indet.	2	0,12 %
	Hemiptera	Heteroptera		Heteroptera indet.	1	0,06 %
	Coleoptera			Coleoptera indet.	2	0,12 %
Chondrichthyes				Chondrichthyes indet.	1	0,06 %
	Chimaeriformes			Chimaeriformes indet.	1	0,06 %
				Selachii indet.	1	0,06 %
	Lamniformes			Lamniformes indet.	1	0,06 %
			Odontaspidae	<i>Carcharias gustrowensis</i>	1	0,06%
			Cetorhinidae	<i>Keasius parvus</i>	1	0,06 %
	Carchariniformes			<i>Physogaleus latus</i>	1	0,06 %
			Triakidae	<i>Triakis kelleri</i>	1	0,06 %
Teleostei				Teleostei indet.	37	2,27 %
	Elopiformes		Elopidae	Elopidae indet.	2	0,12 %
	Anguilliformes		Moringuidae	<i>Deutschenchelys micklichi</i>	1	0,06 %
	Clupeiformes			Clupeiformes indet.	1	0,06 %
		Clupeoidei	Clupeidae	Clupeidae indet.	235	14,1 %
				<i>"Sardinella" sardinites</i>	21	1,29 %
	Lampriformes		Veliferidae	Veliferidae indet.	2	0,12 %
	Gadiformes			Gadiformes indet.	4	0,25 %
		Gadoidei	Gadidae	Gadidae indet.	4	0,25 %
				<i>Palaeogadus</i> sp.	11	0,68 %

				<i>Palaeogadus</i> cf. <i>P. intergerinus</i>	2	0,12 %
	Percomorphaceae inc. sed.			Percomorphaceae indet.	6	0,37 %
	Ophidiiformes		Ophidiidae	Ophidiidae indet.	1	0,06 %
			Palaeorhynchidae	<i>Palaeorhynchus</i> sp.	15	0,92 %
				<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	10	0,62 %
			Caproidae	Caproidae indet.	1	0,06 %
				<i>Capros</i> sp.	1	0,06 %
				<i>Capros caprosoides</i>	7	0,43 %
				<i>Protantigonia</i> sp.	1	0,06 %
			Priacanthidae	Priacanthidae indet.	2	0,12 %
				<i>Priacanthus</i> sp.	21	1,29 %
				<i>Priacanthus spinosus</i>	72	4,43 %
	Syngnathiformes			Syngnathiformes indet.	7	0,43 %
			Aulostomidae	Aulostomidae indet.	3	0,18 %
				<i>Aulostomus medius</i>	28	1,72 %
				<i>Frauenweilerstomus</i> sp.	1	0,06 %
				<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	7	0,43 %
			Centriscidae	<i>Aeoliscus</i> sp.	45	2,75 %
				<i>Aeoliscus distinctus</i>	7	0,43 %
				<i>Aeoliscus heinrichi</i>	35	2,14 %
			Syngnathidae	Syngnathidae indet.	80	4,92 %
				<i>Syngnathus</i> sp.	21	1,29 %
				<i>Doryrhamphus</i> sp.	22	1,35 %
				<i>Microphis</i> sp.	2	0,12 %
			Urosphenidae	Urosphenidae indet.	1	0,06 %
				<i>Oligosphenopsis</i> cf. <i>O. gracilis</i>	4	0,25 %
	Scombriformes			Scombriformes indet.	51	3,14 %
			Euzaphlegidae	<i>Palimphyes</i> sp.	1	0,06 %
			Musculopendunculidae	<i>Musculopendunculus micklichi</i>	1	0,06 %
		Scombroidei	Gempylidae	Gempylidae indet.	42	2,58 %
				<i>Abadzekhia</i> sp.	9	0,55 %
				<i>Abadzekhia</i> cf. <i>A. marinae</i>	4	0,25 %
				<i>Propercarina</i> sp.	53	3,26 %
			Trichiuridae	Trichiuridae indet.	23	1,41 %
				<i>Lepidopus</i> sp.	6	0,37 %
				<i>Anenchelum</i> sp.	15	0,92 %
			Scombridae	Scombridae indet.	52	3,20 %
				<i>Auxides</i> sp.	12	0,74 %

				<i>Scomber</i> sp.	8	0,49 %
				<i>Scomberomorus</i> sp.	9	0,55 %
				<i>Sarda brachycephala</i>	22	1,35 %
				<i>Neocybium</i> sp.	3	0,18 %
				cf. <i>Sphyraenodus</i> sp.	1	0,06 %
		Stromateoidei	Stromateidae	Stromateidae indet.	1	0,06 %
				<i>Pinichthyes</i> sp.	9	0,55 %
				<i>Pinichthyes pulcher</i>	36	2,21 %
				<i>Rybapina</i> cf. <i>R. caucasica</i>	3	0,18 %
			Sphyraenidae	cf. <i>Sphyraena</i> sp.	2	0,12 %
	Carangiformes			Carangiformes indet.	1	0,06 %
		Carangoidei	Carangidae	Carangidae indet.	32	1,95 %
				<i>Archaeus</i> sp.	6	0,37 %
				<i>Archaeus glarisianus</i>	44	2,71 %
				<i>Seriola multiradiata</i>	6	0,37 %
		Echinoidei	Echeneidae	<i>Oligoremora rhenanus</i>	1	0,06 %
	Pleuronectiformes			Pleuronectiformes indet.	18	1,11 %
		Pleuronectoidei	Scophthalmidae	<i>Oligoscoptthalmus weissi</i>	3	0,18 %
			Pleuronectidae	<i>Oligopleuronectes germanicus</i>	2	0,12 %
	Beloniformes		Hemiramphidae	Hemiramphidae indet.	1	0,06 %
				<i>Hemiramphus</i> sp.	26	1,60 %
	Ephippiformes		Ephippidae	<i>Archaeophippus</i> sp.	1	0,06 %
	Spariformes		Sparidae	Sparidae indet.	4	0,25 %
				<i>Sparus</i> cf. <i>S. schoppii</i>	3	0,18 %
	Chaetodontiformes		Chaetodontidae	Chaetodontidae indet.	3	0,18 %
				<i>Leiognathoides</i> cf. <i>L. altapinna</i>	1	0,06 %
	Lophiiformes	Lophioidei	Lophiidae	Lophiidae indet.	2	0,12 %
	Centrarchiformes	Terapontoidei	Kyphosidae	cf. <i>Microcanthus</i> sp.	6	0,37 %
	Perciformes			Perciformes indet.	37	2,28 %
		Serranoidei	Serranidae	Serranidae indet.	115	7,07 %
				<i>Oliganodon</i> sp.	15	0,93 %
				<i>Oliganodon budensis</i>	109	6,70 %
				<i>Reproca</i> sp.	3	0,18 %
				<i>Reproca sabbai</i>	2	0,12 %
		Percoidei	Trachinidae	Trachinidae indet.	1	0,06 %
				<i>Trachinus</i> sp.	7	0,43 %
		Scorpaenoidei	Scorpaenidae	Scorpaenidae indet.	9	0,55 %
				<i>Scorpaena</i> sp.	3	0,18 %

				cf. <i>Sebastes</i> sp.	6	0,37 %
		Trigloioidei	Triglidae	Triglidae indet.	8	0,49 %
"Reptilia"	Testudinata			Testudinata indet.	9	0,55 %
		Cryptodira	Cheloniidae	Cheloniidae indet.	3	0,18 %
Aves				Aves indet.	11	0,68 %
	Apodiformes		Trochiidae	<i>Eurotrochilus inexpectatus</i>	1	0,06 %
	Coraciiformes		Todidae	<i>Palaeotodus itardiensis</i>	1	0,06 %
Mammalia	Sirenia		Dugongidae	<i>"Kaupitherium cf. schinzii"</i>	1	0,06 %
					1634	Summe

Tabelle 50: Abundanz und Diversität der Taxa in der SMF-Sammlung (Stand November 2015).

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Teleostei	Clupeiformes	Clupeoidei	Clupeidae	<i>"Sardinella" sardinites</i>	8	20,48 %
	Gadiformes	Gadoidei	Gadidae	Gadidae indet.	1	2,56 %
	Percomorphaceae inc. sed.		Palaeorhynchidae	<i>Palaeorhynchus</i> sp.	1	2,56 %
				<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	1	2,56 %
			Priacanthidae	<i>Priacanthus spinosus</i>	2	5,12 %
	Syngnathiformes		Aulostomidae	<i>Aulostomus medius</i>	1	2,56 %
			Centriscidae	<i>Aeoliscus heinrichi</i>	2	5,12 %
			Syngnathidae	<i>Syngnathus</i> sp.	2	5,12 %
	Scombriformes	Scombroidei	Gempylidae	<i>Propercarina</i> sp.	6	15,36 %
			Trichiuridae	<i>Lepidopus</i> sp.	2	5,12 %
			Scombridae	Scombridae indet.	2	5,12 %
				<i>Scomberomorus lingulatus</i>	1	2,56 %
				<i>Sarda brachycephala</i>	2	5,12 %
	Carangiformes	Carangoidei	Carangidae	<i>Archaeus glarisianus</i>	1	2,56 %
	Beloniformes	Exocoetoidei	Hemiramphidae	<i>Hemiramphus</i> sp.	1	2,56 %
	Ephippiformes		Ephippidae	<i>Archaehippus</i> sp.	1	2,56 %
	Perciformes	Serranoidei	Serranidae	<i>Oliganodon budensis</i>	1	2,56 %
Aves				Aves indet.	1	2,56 %
	Procellariiformes		Diomedeoidea	<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. brodkorbi</i>	2	5,12 %
				<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. definitus</i>	2	5,12 %
	Charadriiformes		Turnicidae	<i>Turnipax oechslerorum</i>	1	2,56 %
	Coraciiformes		Todidae	<i>Palaeotodus itardiensis</i>	1	2,56 %
					42	Summe

Tabelle 51: Abundanz und Diversität der Taxa in der SMNS-Sammlung (März 2016)

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
				Embryophyta indet.	18	0,53 %
Phycophyta				Phycophyta indet.	1	0,03 %
				<i>Thallitus multifidus</i>	11	0,33 %
Phaeophyta				Phaeophyta indet.	7	0,21 %
				<i>Cystoseyrites</i> sp.	2	0,06 %
				<i>Cystoseyrites communis</i>	1	0,03 %
				<i>Laminarites latus</i>	9	0,73 %
Rhodophyta				Rhodophyta indet.	21	0,62 %
				Tracheophyta indet.	33	0,98 %
Polypodiopsida	Polypodiales			Polypodiales indet.	1	0,03 %
	Schizaeales			<i>Lygodium kaulfussii</i>	3	0,09 %
				Spermatophytina indet.	3	0,09 %
Cycadopsida	Cycadales			<i>Ceratozamia floersheimensis</i>	1	0,03 %
Coniferopsida				Coniferopsida indet.	1	0,03 %
	Coniferales			Coniferales indet.	1	0,03 %
			Pinaceae	<i>Pinus</i> sp.	17	0,51 %
				<i>Pinus</i> cf. <i>thomasi</i>	4	0,12 %
			Cupressaceae	Cupressaceae indet.	4	0,12 %
				<i>Taxodium</i> sp.	2	0,06 %
				<i>Tetraclinis</i> sp.	1	0,03 %
				<i>Tetraclinis salicornioides</i>	21	0,63 %
Magnoliopsida				Magnoliopsida indet.	74	2,19 %
				<i>Dicotylophyllum</i> sp.	1	0,03 %
				<i>Dicotylophyllum badense</i>	1	0,03 %
				<i>Dicotylophyllum oechsleri</i>	1	0,03 %
				<i>Dicotylophyllum vesiculaeferens</i>	2	0,06 %
	Lurales		Lauraceae	Lauraceae indet.	9	0,27 %
				<i>Actinodaphne pseudogermari</i>	1	0,03 %
				<i>Daphnogene cinnamomifolia</i>	56	1,68 %
				<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>	1	0,03 %
				<i>Laurus abchasic</i>	3	0,09 %
				<i>Laurophyllum kinkelini</i>	2	0,06 %
				<i>Laurophyllum</i> cf. <i>kinkelini</i>	2	0,06 %
				<i>Laurophyllum pseudoprinceps</i>	20	0,59 %
				<i>Laurophyllum rauenbergense</i>	3	0,09 %

	Alismatales		Zosteraceae	Zosteraceae indet.	32	0,95 %
	Arecales			Arecales indet.	3	0,12 %
			Arecaceae	Arecaceae indet.	1	0,03 %
				<i>Palmacites lamanonis</i>	15	0,45 %
				<i>Phoenicites</i> sp.	1	0,03 %
				<i>Sabalites major</i>	7	0,21 %
	Proteales		Platanaceae	Platanaceae indet.	2	0,06 %
				<i>Platanus neptuni</i>	84	2,49 %
	Oxalidales		Elaeocarpaceae	<i>Sloanea olmediaefolia</i>	1	0,03 %
				<i>Sloanea artocarpites</i>	1	0,03 %
	Malpighiales		Juglandaceae	<i>Carya fragiliformis</i>	1	0,03 %
				<i>Carya quadrangula</i>	2	0,06 %
				<i>Engelhardia macroptera</i>	1	0,03 %
	Fagales			Fagales indet.	1	0,03 %
			Myriaceae	Myriaceae indet.	1	0,03 %
				<i>Myrica</i> sp.	6	0,18 %
				<i>Myrica</i> cf. <i>lignitum</i>	1	0,03 %
				<i>Myrica longifolia</i>	3	0,09 %
				<i>Myrica obliquifolia</i>	8	0,23 %
				<i>Comptonia difformis</i>	2	0,06 %
	Saxifragales		Cercidiphyllaceae	<i>Distylium</i> sp.	1	0,03 %
	Cornales		Cornaceae	Cornaceae indet.	2	0,06 %
			Hydrangeaceae	<i>Hydrangea microcalyx</i>	1	0,03 %
	Euricales		Ericaceae	Eriaceae indet.	3	0,09 %
			Theaceae	Theaceae indet.	1	0,03 %
			Symplocaceae	<i>Symplocos volkeri</i>	1	0,03 %
				<i>Symplocos deichmülleri</i>	4	0,12 %
	Fabales		Fabaceae	Fabaceae indet.	1	0,03 %
	Gentianales		Apocynaceae	<i>Trachelospermum steinigeri</i>	2	0,06 %
	Lamiales		Oleaceae	<i>Oleinites rauenbergensis</i>	4	0,12 %
				<i>Oleinites altorhenana</i>	1	0,03 %
Gastropoda				Gastropoda indet.	5	0,15 %
	Sorbeoconcha	Stromboidea	Aporrhaidae	Aporrhaidae indet.	2	0,06 %
				<i>Drepanocheilus</i> cf. <i>D. speciosus</i>	12	0,36 %
Bivalvia				Bivalvia indet.	1	0,03 %
	Nuculoidea		Nuculanidae	<i>Nucula duchasteli</i>	2	0,06 %
			Thyasiridae	<i>Thyasira benedeni</i>	2	0,06 %
			Yoldiidae	<i>Portlandia deshayesiana</i>	1	0,03 %

Echinodermata	Spatangoida		Schizasteridae	Schizasteridae indet.	1	0,03 %
Arachnida	Araneae		Araneae	cf. Araneae	1	0,03 %
Malacostraca				Malacostraca indet.	1	0,03 %
Maxillopoda	Cirripedia		Balanidae	<i>Protochelonibia</i> sp.	2	0,06 %
			Pedunculata	Pedunculata indet.	4	0,12 %
Insecta				Insecta indet.	102	3,03 %
	Odonata	Zygoptera		Calopterygidae indet.	1	0,03 %
				Neoptera indet.	3	0,09 %
	Neoptera	Orthoptera		cf. Orthoptera	2	0,06 %
		Hemiptera	Heteroptera	Heteroptera indet.	1	0,03 %
				Pentatomidae indet.	1	0,03 %
			Auchenorrhyncha	Auchenorrhyncha indet.	1	0,03 %
		Diptera		cf. Diptera	6	0,18 %
		Coleoptera		Coleoptera indet.	71	2,11 %
			Adephaga	Carabidae indet.	1	0,03 %
			Polyphaga	cf. Buprestidae	1	0,03 %
				Cerambycidae indet.	2	0,06 %
				cf. Staphylinidae	1	0,03 %
		Hymenoptera		cf. Hymenoptera	6	0,18 %
			Apocrita	Formicidae indet.	2	0,06 %
		Lepidoptera		Lepidoptera indet.	1	0,03 %
Chondrichthyes				Selachii indet.	1	0,03 %
	Myliobatiformes		Myliobatidae	<i>Weissobatis micklichi</i>	1	0,03 %
Teleostei				Teleostei indet.	16	0,48 %
	Elopiformes		Elopidae	Elopidae indet.	1	0,03 %
	Clupeiformes	Clupeoidei	Clupeidae	Clupeidae indet.	1284	38,13 %
	Lampriformes		Veliferidae	Veliferidae indet.	2	0,06 %
	Gadiformes			Gadiformes indet.	1	0,03 %
	Percomorphaceae inc. sed.			Percomorphaceae indet.	4	0,12 %
			Palaeorhynchidae	<i>Palaeorhynchus</i> cf. <i>P. glarisianus</i>	6	0,18 %
			Caproidae	<i>Capros</i> sp.	12	0,36 %
			Priacanthidae	Priacanthidae indet.	1	0,03 %
				<i>Priacanthus spinosus</i>	64	1,90 %
	Syngnathiformes		Aulostomidae	Aulostomidae indet.	3	0,09 %
				<i>Aulostomus medius</i>	20	0,59 %
				<i>Frauenweilerstomus synarcualis</i>	17	0,50 %
			Centriscidae	<i>Aeoliscus</i> sp.	313	9,07 %
				<i>Aeoliscus heinrichi</i>	4	0,12 %

			Syngnathidae	Syngnathidae indet.	105	3,12 %
				<i>Syngnathus</i> sp.	65	1,93 %
			Urosphenidae	Urosphenidae indet.	1	0,03 %
	Scombriformes			Scombriformes indet.	7	0,21 %
			Euzaphlegidae	<i>Palimphytes</i> sp.	1	0,03 %
		Scombroidei	Gempylidae	<i>Propercarina</i> sp.	9	0,27 %
			Trichiuridae	Trichiuridae indet.	34	1,01 %
				<i>Anenchelum</i> sp.	1	0,03 %
			Scombridae	Scombridae indet.	89	2,64 %
				<i>Scomber</i> sp.	2	0,06 %
				<i>Sarda brachycephala</i>	54	1,60 %
		Stromateoidei	Stromateidae	<i>Pinichthyes</i> sp.	19	0,56 %
				<i>Pinichthyes pulcher</i>	2	0,06 %
	Carangiformes	Carangoidei	Carangidae	Carangidae indet.	6	0,18 %
				<i>Archaeus</i> sp.	48	1,43 %
		Echinoidei	Echeneidae	<i>Oligoremora rhenanus</i>	2	0,06 %
	Beloniformes		Hemiramphidae	<i>Hemiramphus</i> sp.	29	0,86 %
	Spariformes			Spariformes indet.	1	0,03 %
			Sparidae	Sparidae indet.	1	0,03 %
	Chaetodontiformes		Chaetodontidae	Chaetodontidae indet.	1	0,03 %
	Perciformes			Perciformes indet.	17	0,50 %
		Serranoidei	Serranidae	Serranidae indet.	167	4,96 %
				<i>Oliganodon budensis</i>	148	4,40 %
		Percoidei	Trachinidae	<i>Trachinus</i> sp.	1	0,03 %
		Scorpaenoidei	Scorpaenidae	Scorpaenidae indet.	1	0,03 %
		Triglioidei	Triglidae	Triglidae indet.	2	0,06 %
"Reptilia"	Testudinata			Chelonioidea indet.	1	0,03 %
		Cryptodira	Cheloniidae	Cheloniidae indet.	1	0,03 %
				cf. " <i>Chelonia</i> " <i>gwinneri</i>	6	0,18 %
			Trionychidae	cf. <i>Trionyx (Platypeltis) posterus</i>	1	0,03 %
Aves				Aves indet.	7	0,21 %
	Gaviiformes		Gaviidae	<i>Colymboides? metzleri</i>	1	0,03 %
	Procellariiformes			Procellariiformes indet.	1	0,03 %
			Diomedeoidea	<i>Rupelornis</i> cf. <i>R. brodkorbi</i>	5	0,15 %
	Apodiformes		Trochiidae	<i>Eurotrochilus inexpectatus</i>	2	0,06 %
	Coliiformes		Coliidae	<i>Oligocolius brevitarisus</i>	1	0,03 %
	Trogoniformes		Trogonidae	cf. <i>Primotrogon</i>	1	0,03 %
	Piciformes		Picidae	<i>Rupelramphastoides knopfi</i>	1	0,03 %

Mammalia	Sirenia			Sirenia indet.	1	0,03 %
	Chiroptera	Microchiroptera	Vespertilionidae	cf. <i>Myotis horaceki</i>	1	0,03 %
					3336	Summe

Tabelle 52: Übersicht über die Häufigkeitsverteilung der Taxa der Amateurgrabung.

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Phycophyta				Phycophyta indet.	118	9,58 %
Phaeophyta			Himanthaliaceae	<i>Himanthalia</i> sp.	1	0,08 %
				Spermatophytina indet.	79	6,41 %
Coniferopsida				Coniferopsida indet.	4	0,32 %
	Coniferales		Pinaceae	<i>Pinus</i> sp.	7	0,57 %
Magnoliopsida				Magnoliopsida indet.	32	2,60 %
	Laurales		Lauraceae	Lauraceae indet.	4	0,32 %
	Arecales			Arecales indet.	1	0,08 %
	Malpighiales		Salicaceae	Salicaceae indet.	12	0,98 %
Bivalvia	Pteriomorphia	Arcoida	Glycymerididae	<i>Glycymeris</i> sp.	1	0,08 %
Insecta				Insecta indet.	2	0,16 %
	Hemiptera			Hemiptera indet.	2	0,16 %
	Coleoptera			Coleoptera indet.	2	0,16 %
Teleostei				Teleostei indet.	224	18,17 %
	Clupeiformes	Clupeoidei	Clupeidae	Clupeidae indet.	451	36,58 %
	Percomorphaceae inc. sed.		Priacanthidae	<i>Priacanthus</i> sp.	1	0,08 %
	Syngnathiformes			Syngnathiformes indet.	1	0,08 %
			Aulostomidae	Aulostomidae indet.	4	0,32 %
			Centriscidae	<i>Aeoliscus</i> sp.	254	20,60 %
			Syngnathidae	Syngnathidae indet.	1	0,08 %
	Scombriformes			Scombriformes indet.	25	2,03 %
			Trichiuridae	<i>Lepidopus</i> sp.	1	0,08 %
	Beloniformes			Beloniformes indet.	1	0,08 %
	Perciformes			Perciformes indet.	1	0,08 %
					1231	Summe

Tabelle 53: Übersicht über die Häufigkeitsverteilung der Taxa innerhalb der wissenschaftlichen Grabung.

Klasse/Höheres Taxon	Ordnung	Unterordnung	Familie	Taxon	absolute Anzahl	prozentualer Anteil
Phycophyta				Phycophyta indet.	100	1,64 %
				Spermatophytina indet.	8	0,13 %
Coniferopsida				Coniferopsida indet.	44	0,72 %
	Coniferales		Cupressaceae	Cupressaceae indet.	11	0,18 %
Magnoliopsida				Magnoliopsida indet.	254	4,17 %
	Lurales		Lauraceae	Lauraceae indet.	35	0,58 %
	Alismatales		Zosteraceae	Zosteraceae indet.	1944	31,93 %
	Arecales			Arecales indet.	2	0,03 %
	Malpighiales		Salicaceae	Salicaceae indet.	15	0,24 %
	Fagales		Juglandaceae	Juglandaceae indet.	1	0,02 %
			Myricaceae	Myricaceae indet.	2	0,03 %
Gastropoda				Gastropoda indet.	2	0,03 %
Bivalvia				Bivalvia indet.	6	0,10 %
	Nuculoidea	Nuculoida	Nuculanidae	<i>Nucula</i> sp.	1	0,02 %
Insecta				Insecta indet.	4	0,07 %
	Odonta	Zygoptera		Zygoptera indet.	1	0,02 %
		Hemiptera		Heteroptera indet.	1	0,02 %
		Coleoptera		Coleoptera indet.	2	0,03 %
Teleostei				Teleostei indet.	1271	20,87 %
	Clupeiformes	Clupeoidei	Clupeidae	Clupeidae indet.	1208	19,84 %
	Percomorphaceae inc. sed.			<i>Priacanthus spinosus</i>	1	0,02 %
	Syngnathiformes			Syngnathiformes indet.	8	0,02 %
			Aulostomidae	Aulostomidae indet.	12	0,04 %
			Centriscidae	<i>Aeoliscus</i> sp.	1076	17,67 %
				Syngnathidae indet.	3	0,05 %
	Scombriformes			Scombriformes indet.	78	1,28 %
			Trichiuridae	Trichiuridae indet.	2	0,03 %
				<i>Lepidopus</i> sp.	1	0,02 %
			Scombridae	<i>Scomberomorus</i> sp.	1	0,02 %
	Perciformes			Perciformes indet.	2	0,03 %
Tetrapoda				Tetrapoda indet.	1	0,02 %
					6098	Summe

Tabelle 54: Vergleich der absoluten Häufigkeiten der Pflanzenfossilien in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

Höheres Taxon	Taxon	Sammlungen	Amateurgrabung	wissenschaftliche Grabung
Embryophyta	Embryophyta indet.	58	-	-
	Phycophyta indet.	31	118	100
	Phycophyta	40	-	-
	Phaeophyta	10	1	-
	Rhodophyta	86	-	82
	Tracheophyta indet.	135	-	-
	Polypodiales	1	-	-
	Schizaeales	3	-	-
	Spermatophytina indet.	38	79	8
	Coniferopsida indet.	1	4	44
	Coniferales	61	7	11
	Magnoliopsida indet.	114	32	254
	Laurales	99	4	35
	Alismatales	61	-	1944
	Arecales	33	1	2
	Proteales	88	-	1
	Oxalidales	1	-	-
	Malpighiales	3	12	15
	Fagales	29	-	3
	Malvales	2	-	-
	Saxifragales	1	-	-
	Cornales	3	-	-
	Euricales	5	-	-
	Fabales	1	-	-
	Gentianales	2	-	-
	Lamiales	5	-	-

Tabelle 55: Erhaltene Elemente der Pflanzenfossilien in den Sammlungen.

erhaltene Elemente Taxon	Lager	Blätter	Holz/Fusit	Zweige	Blüten	Zapfen	Fruktifikationen	Fragmente
Embryophyta indet.	-	2	6	-	-	-	-	2
Phycophyta	84	-	-	-	-	-	-	-
Tracheophyta indet.	-	132	3	7	-	-	1	-
Pteridophyta	-	3	-	-	-	-	-	-
Spermatophytina indet.	-	1	10	-	-	-	-	1
Cycadopsida	-	1	-	-	-	-	-	-
Ginkgoopsida	-	30	-	-	-	-	-	-
Coniferopsida	-	7	3	-	-	7	9	-
Magnoliopsida	-	373	-	3	1	-	20	1
Gesamt	84	556	22	19	1	7	30	4

Tabelle 56: Erhaltene Elemente der Pflanzenfossilien in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente Taxon	Lager	Blätter	Holz/Fusit	Zweige	Blüten	Zapfen	Fruktifikationen	Fragmente
Embryophyta indet.	-	-	-	-	-	-	-	32
Phycophyta	118	-	-	-	-	-	-	57
Tracheophyta indet.	-	1	-	-	-	-	1	-
Pteridophyta	-	-	-	-	-	-	-	6
Spermatophytina indet.	-	4	83	-	-	-	-	-
Cycadopsida	-	-	-	-	-	-	-	-
Ginkgoopsida	-	-	-	-	-	-	-	-
Coniferopsida	-	7	-	-	-	2	-	-
Magnoliopsida	-	81	-	-	-	-	-	-
Gesamt	118	93	83	0	0	2	1	95

Tabelle 57: Erhaltene Elemente der Pflanzenfossilien in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente Taxon	Lager	Blätter	Holz/Fusit	Zweige	Blüten	Zapfen	Fruchtifikationen	Fragmente
Embryophyta indet.	-	-	-	-	-	-	-	4342
Phycophyta	98	-	-	-	-	-	-	-
Tracheophyta indet.	-	-	-	-	-	-	-	-
Pteridophyta	-	-	-	-	-	-	-	-
Spermatophytina indet.	-	-	2655	1	-	-	7	-
Cycadopsida	-	-	-	-	-	-	-	-
Ginkgoopsida	-	-	-	-	-	-	6	-
Coniferopsida	-	45	-	-	-	-	2	-
Magnoliopsida	-	2129	-	-	-	-	-	-
Gesamt	98	2174	2655	1	0	0	15	4342

Tabelle 58: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der marinen Wirbellose (Makroinvertebrata) in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

Höheres Taxon	Taxon	Sammlungen	Amateurgrabung	wissenschaftliche Grabung
Gastropoda	Gastropoda indet.	9	-	2
	Conoidea	18	-	-
	Cassoidea	4	-	-
	Epitonioidea	1	-	-
	Naticoidea	1	-	-
	Stromboidea	18	-	-
	Buccinoidea	1	-	-
Bivalvia	Bivalvia indet.	16	-	6
	Heterodonta	3	-	-
	Ostreoida	2	-	-
	Arcoidea	2	1	-
	Pterioidea	2	-	-
	Pectinoidea	5	-	-
	Nuculoida	143	-	1
	Echinoidea indet.	6	-	-
	Spatangoida	38	-	-
	Cidaroida	1	-	-
	Malacostraca indet.	5	-	-
	Decapoda	32	-	-
	Cirripedia	8	-	-

Tabelle 59: Erhaltene Elemente der marinen Wirbellose (Makroinvertebrata) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente	Gehäuse (Aragonit/ Kalzit)	Schalen (Kalzit)	Panzer (Chitin)	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon							
Gastropoda	97	-	-	-	-	-	1
Bivalvia	129	-	-	-	-	-	-
Echinodermata	-	59	-	-	-	2	-
Decapoda	-	-	27	1	2	-	-
Cirripedia	-	-	8	-	-	-	-
Gesamt	226	59	35	1	2	2	1

Tabelle 60: Erhaltene Elemente der marinen Wirbellose (Makroinvertebrata) in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente	Gehäuse (Aragonit/ Kalzit)	Schalen (Kalzit)	Panzer (Chitin)	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon							
Gastropoda	-	-	-	-	-	-	-
Bivalvia	1	-	-	-	-	-	-
Echinodermata	-	-	-	-	-	-	-
Decapoda	-	-	-	-	-	-	-
Cirripedia	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt	1	0	0	0	0	0	0

Tabelle 61: Erhaltene Elemente der marinen Wirbellose (Makroinvertebrata) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente	Gehäuse (Aragonit/ Kalzit)	Schalen (Kalzit)	Panzer (Chitin)	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon							
Gastropoda	2	-	-	-	-	-	-
Bivalvia	7	-	-	-	-	-	-
Echinodermata	-	-	-	-	-	-	-
Decapoda	-	-	-	-	-	-	-
Cirripedia	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt	9	0	0	0	0	0	0

Tabelle 62: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der landlebenden Wirbellose (Makroinvertebrata) in den Sammlungen, in der wissenschaftlichen und in der Amateurgrabung.

Höheres Taxon	Taxon	Sammlungen	wissenschaftliche Grabung	Amateurgrabung
Chelicerata	Araneae	3	-	-
Insecta	Insecta indet.	143	4	2
	Zygoptera	5	1	-
	Orthoptera	2	-	-
	Hemiptera	26	1	2
	Diptera	18	-	-
	Coleoptera	155	2	2
	Hymenoptera	9	-	-
	Lepidoptera	2	-	-

Tabelle 63: Erhaltene Elemente der landlebenden Wirbellose (Makroinvertebrata) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon				
Chelicerata	1	2	-	-
Insecta	56	173	59	27
Gesamt	58	177	59	27

Tabelle 64: Erhaltene Elemente der landlebenden Wirbellose (Makroinvertebrata) in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon				
Chelicerata	-	-	-	-
Insecta	-	6	-	-
Gesamt	0	6	0	0

Tabelle 65: Erhaltene Elemente der landlebenden Wirbellose (Makroinvertebrata) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente	Ganzkörper	Ganzkörper ohne Caput/ Extremitäten	Einzel- elemente	Fragmente
Taxon				
Chelicerata	-	-	-	-
Insecta	1	6	1	-
Gesamt	1	6	1	0

Tabelle 66: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Knorpelfische (Chondrichthyes) in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

Höheres Taxon	Taxon	Sammlungen	Amateurgrabung	wissenschaftliche Grabung
Chondrichthyes	Chondrichthyes indet.	1	-	-
	Chimaeriformes	1	-	-
	Selachii indet.	6	-	-
	Lamniformes	6	-	-
	Carcharhiniformes	2	-	-
	Myliobatiformes	2	-	-

Tabelle 67: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Haie (Selachii) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Zähne	Kiemenreusendornen	Kiemenreusendornenbündel	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	2	-	-	-	-	2
Stufe 5	10	-	-	10	-	-
Stufe 6	11	-	-	11	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	6	-	-	-	6	-
Stufe 9	126	77	49	-	-	-
Stufe 10	154	12	121	-	21	-

Tabelle 68: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Haie (Selachii) in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente		Zähne	Kiemenreusendornen	Kiemenreusendornenbündel	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	0	-	-	-	-	-
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	21	3	18	-	-	-
Stufe 10	78	-	75	-	3	-

Tabelle 69: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Haie (Selachii) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente		Zähne	Kiemenreusendornen	Kiemenreusendornenbündel	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	0	-	-	-	-	-
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	29	-	-	29	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	27	8	19	-	-	-
Stufe 10	2253	1	2252	-	-	-

Tabelle 70: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Rochen (Batoidea) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Kauplatten/Symphysenzähne	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt		
Stufe 1	0	-	-
Stufe 2	0	-	-
Stufe 3	2	-	1
Stufe 4	1	-	1
Stufe 5	0	-	-
Stufe 6	0	-	-
Stufe 7	0	-	-
Stufe 8	0	-	-
Stufe 9	2	2	-
Stufe 10	4	4	-

Tabelle 71: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Knochenfische (Teleostei) in den Sammlungen, in der Amateur- und wissenschaftlichen Grabung.

Höheres Taxon	Taxon	Sammlungen	Amateurgrabung	wissenschaftliche Grabung
Teleostei	Teleostei indet.	696	224	1271
	Elopiformes	3	-	-
	Anguiliiformes	1	-	-
	Clupeiformes	2480	451	1208
	Lampriformes	4	-	-
	Gadiformes	51	-	-
	Percomorphaceae inc. sed.	361	1	1
	Ophidiiformes	1	-	-
	Syngnathiformes	1402	260	1099
	Scombriformes	685	26	82
	Carangiformes	160	-	-
	Pleuronectiformes	33	-	-
	Beloniformes	68	1	-
	Ephippiformes	1	-	-
	Spariformes	13	-	-
	Chaetodontiformes	5	-	-
	Lophiiformes	2	-	-
	Centrarchiformes	6	-	-
	Perciformes	963	1	2

Tabelle 72: Häufigkeit und Diversität der Jungfische in den Sammlungen.

Ordnung	absolute Anzahl	prozentualer Anteil innerhalb der Ordnung
Teleostei indet.	38	5,46 %
Clupeiformes	204	8,06 %
Gadiformes	2	3,92 %
Percomorphaceae inc. sed.	11	3,05 %
Syngnathiformes	67	4,78 %
Scombriformes	61	8,89 %
Carangiformes	3	1,88 %
Beloniformes	3	4,41 %
Chaetodontiformes	2	40,00 %
Perciformes	110	11,39 %

Tabelle 73: Abundanz und Diversität der Jungfische in der Amateurgrabung.

Ordnung	absolute Anzahl	prozentualer Anteil innerhalb der Ordnung
Clupeiformes	4	0,89 %
Syngnathiformes	5	1,92 %

Tabelle 74: Abundanz und Diversität der Jungfische in der wissenschaftlichen Grabung.

Ordnung	absolute Anzahl	prozentualer Anteil innerhalb der Ordnung
Clupeiformes	68	5,63 %
Syngnathiformes	22	2,00 %
Scombriformes	2	1,56 %
Perciformes	1	50,00 %

Tabelle 75: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Heringsartigen (Clupeiformes) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flosse	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	19	-	-	-	-	19
Stufe 2	2	-	-	-	-	2
Stufe 3	249	-	-	-	-	249
Stufe 4	1005	-	-	-	-	1005
Stufe 5	7	-	-	7	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	36	-	35	1	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	62	62	-	-	-	-

Tabelle 76: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Heringsartigen (Clupeiformes) in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	2	-	-	-	-	2
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	55	-	-	-	-	55
Stufe 4	268	-	-	-	-	268
Stufe 5	13	-	4	7	2	-
Stufe 6	1	-	-	1	-	-
Stufe 7	50	-	50	-	-	-
Stufe 8	5	-	2	2	1	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	472	472	-	-	-	-

Tabelle 77: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Heringsartigen (*Clupeiformes*) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	2	-	-	-	-	2
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	97	-	-	-	-	97
Stufe 4	662	-	-	-	-	662
Stufe 5	30	-	30	-	-	-
Stufe 6	18	-	-	8	10	-
Stufe 7	146	-	146	-	-	-
Stufe 8	282	-	-	120	162	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	11.047	11.047	-	-	-	-

Tabelle 78: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Barschverwandten unsicherer taxonomischer Stellung (*Percomorphaceae inc. sed.*) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	36	-	-	-	-	36
Stufe 2	3	-	-	-	-	3
Stufe 3	88	-	-	-	-	88
Stufe 4	180	-	-	-	-	180
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	2	-	2	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	1	-	1	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	42	42	-	-	-	-

Tabelle 79: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Barschverwandten unsicherer taxonomischer Stellung (*Percomorphaceae inc. sed.*) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	-	-	-	-	-	-
Stufe 2	-	-	-	-	-	-
Stufe 3	1	-	-	-	-	-
Stufe 4	-	-	-	-	-	-
Stufe 5	-	-	-	-	-	-
Stufe 6	-	-	-	-	-	-
Stufe 7	-	-	-	-	-	-
Stufe 8	-	-	-	-	-	-
Stufe 9	-	-	-	-	-	-
Stufe 10	1	-	-	-	-	-

Tabelle 80: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Seenadelartigen (*Syngnathiformes*) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Einzelelemente	Schädel	Schädel + Knochenpanzer	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	184	-	-	-	-	184
Stufe 2	59	-	-	-	-	59
Stufe 3	195	-	-	-	-	195
Stufe 4	374	-	-	-	-	374
Stufe 5	12	-	2	10	-	-
Stufe 6	281	-	24	257	-	-
Stufe 7	36	-	10	26	1	-
Stufe 8	6	-	5	1	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 81: Zerfallsstufen und die erhaltene Elemente der Seenadelartigen (Syngnathiformes) in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente		Einzelelemente	Schädel	Schädel + Knochenpanzer	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	2	-	-	-	-	2
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	24	-	-	-	-	24
Stufe 4	72	-	-	-	-	72
Stufe 5	3	-	-	3	-	-
Stufe 6	52	-	23	29	-	-
Stufe 7	50	-	18	32	-	-
Stufe 8	6	-	4	2	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	11	11	-	-	-	-

Tabelle 82: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Seenadelartigen (Syngnathiformes) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente		Einzelelemente	Schädel	Schädel + Knochenpanzer	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	15	-	-	-	-	15
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	23	-	-	-	-	23
Stufe 4	522	-	-	-	-	522
Stufe 5	45	-	1	44	-	-
Stufe 6	81	-	63	18	-	-
Stufe 7	41	-	38	3	-	-
Stufe 8	13	-	-	13	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	108	108	-	-	-	-

Tabelle 83: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente innerhalb der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Zähne	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	17	-	-	-	-	17
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	54	-	-	-	-	54
Stufe 4	504	-	-	-	-	504
Stufe 5	8	-	-	8	-	-
Stufe 6	33	-	3	30	-	-
Stufe 7	22	-	11	11	-	-
Stufe 8	24	-	23	1	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	77	77	-	-	-	-

Tabelle 84: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente innerhalb der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente		Zähne	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	1	-	-	-	-	1
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	4	-	-	4	-	-
Stufe 7	1	-	-	1	-	-
Stufe 8	3	-	2	1	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 85: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente innerhalb der Makrelen- und Thunfischartigen (Scombriformes) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente		Zähne	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	12	-	-	-	-	12
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	5	-	-	5	-	-
Stufe 7	6	-	-	6	-	-
Stufe 8	5	-	2	3	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	3	3	-	-	-	-

Tabelle 86: Zerfallsstufen und dazugehörigen erhaltene Elemente innerhalb der Beloniformes in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	22	-	-	-	-	22
Stufe 4	44	-	-	-	-	44
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	10	-	10	-	-	-
Stufe 7	1	-	1	-	-	-
Stufe 8	1	-	1	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	2	2	-	-	-	-

Tabelle 87: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Hornhechtartige (Beloniformes) in der Amateurgrabung.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	0	-	-	-	-	-
Stufe 4	0	-	-	-	-	-
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	1	-	1	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 88: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Barschartigen (Perciformes) in den Sammlungen.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	70	-	-	-	-	70
Stufe 2	23	-	-	-	-	23
Stufe 3	181	-	-	-	-	181
Stufe 4	611	-	-	-	-	611
Stufe 5	1	-	-	1	-	-
Stufe 6	4	-	2	2	-	-
Stufe 7	7	-	6	1	-	-
Stufe 8	2	-	2	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	33	33	-	-	-	-

Tabelle 89: Zerfallsstufen und erhaltene Elemente der Barschartigen (Perciformes) in der wissenschaftlichen Grabung.

erhaltene Elemente		Schuppen	Schädel	Flossen	Wirbel/ Wirbelsäulen	Ganzkörper
Zerfallsstufe	Gesamt					
Stufe 1	0	-	-	-	-	-
Stufe 2	0	-	-	-	-	-
Stufe 3	1	-	-	-	-	1
Stufe 4	1	-	-	-	-	1
Stufe 5	0	-	-	-	-	-
Stufe 6	0	-	-	-	-	-
Stufe 7	0	-	-	-	-	-
Stufe 8	0	-	-	-	-	-
Stufe 9	0	-	-	-	-	-
Stufe 10	0	-	-	-	-	-

Tabelle 90: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Landwirbeltiere (Tetrapoda) in den Sammlungen, in der Amateur- und in der wissenschaftlichen Grabung.

Höheres Taxon	Taxon	Sammlungen	Amateurgrabung	wissenschaftliche Grabung
Tetrapoda	Tetrapoda indet.	-	-	1
	Testudinata indet.	14	-	-
	Cheloniidae	12	-	-
	Trionychidae	1	-	-
	Crocodylia	1	-	-
	Aves indet.	31	-	-
	Gaviiformes	1	-	-
	Procellariiformes	10	-	-
	Apodiformes	7	-	-
	Charadriiformes	1	-	-
	Coliiformes	1	-	-
	Trogoniformes	1	-	-
	Passeriformes	1	-	-
	Coraciiformes	2	-	-
	Piciformes	2	-	-
	Sirenia	2	-	-
	Chiroptera	1	-	-
	Creodonta	1	-	-

Referenzen

- AGAFONOVA, T.B. 1994: "Systematics and distribution of *Cubiceps* (Nomeidae) of the world ocean". Journal of Ichthyology **34** (5): 116-143.
- ALEXANDER, S. & FREY, E. 2010: "Zwei Meeresschildkröten (*Cheloniidae*) aus der Tongrube Unterfeld bei Rauenberg (Unteroligozän, Rupelium)". Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte **17**: 73-105.
- BAUCHOT, M.-L. 1987: "Poissons osseux". In FISCHER, W., BAUCHOT, M.L. & SCHNEIDER, M. (Hrsg.): "Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche. (rev. 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37". Vol. II. Commission des Communautés Européennes and FAO: 891-1421.
- BAUCHOT, M.-L. & HUREAU, J.-C. 1990: "Sparidae". In: QUERO, J.C., HUREAU, J.C., KARRER, C., POST, A. & SALDANHA, L. (Hrsg.): "Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)". JNICT, Lisbon; SEI, Paris; and UNESCO, Paris. Vol. **2**: 790-812.
- BUTZMANN, R., FISCHER, T.C. & RIEBER, E. 2009: "Makroflora aus dem inneralpinen Fächerdelta der Häring-Formation (Rupelium) vom Duxer Köpfl bei Kufstein/Unterinntal, Österreich". Zitteliana, Serie A, **48** (49): 129-163.
- COHEN, D.M., INADA, T., IWAMOTO, T. AND SCIALABBA, N. 1990: "FAO species catalogue. Vol. 10. Gadiform fishes of the world (Order Gadiformes). An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date". FAO Fish Synopsis **125** (10): 442 S.
- COLLETTE, B.B. & NAUEN, C.E. 1983: "FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date". FAO Fish Synopsis **125** (2): 137 S.
- COLLETTE, B.B. & PARIN, N.V. 1986: "Belonidae". In: WHITEHEAD, P.J.P., BAUCHOT, M.-L., HUREAU, J.-C., NIELSEN, J. & TORTONESE, E. (Hrsg.): "Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean, Vol. 2". UNESCO, Paris: 604-609.
- COOPER, J.A. & CHAPLEAU, F. 1998: "Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification". Fish Bulletin **96** (4): 686-726.
- DAGET, J. 1986: "Sphyraenidae". In: DAGET, J., GOSSE, J.-P. & THYS VAN DEN AUDENAERDE, D.F.E. (Hrsg.): "Check-list of the freshwater fishes of Africa (CLOFFA)". ISBN, Brussels; MRAC, Tervuren; and ORSTOM, Paris. Vol. **2**: 350-351.
- DAWSON, C.E., 1986: "Syngnathidae". In: WHITEHEAD, P.J.P., BAUCHOT, M.-L., HUREAU, J.-C., NIELSEN, J. & TORTONESE, E. (Hrsg.): "Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean". Vol. **2**, UNESCO, Paris: 628-639.
- DRANSFIELD, J., UHL, N. W., ASMUSSEN, C. B., BAKER, W. J., HARLEY, M. M., LEWIS, C. E. 2008: "Genera Palmarum. The Evolution and Classification of Palms". Zweite Auflage, Royal Botanic Gardens, Kew: 76 S.
- FERNHOLM, B. & WHEELER, A. 1983: "Linnaean fish specimens in the Swedish Museum of Natural History". Zoological Journal of the Linnean Society **78** (3): 199-286.

- FREY, E., MUNK, W., BÖHME, M., MORLO, M. & HENSEL, M. 2010: "First creodont carnivore from the Rupelian Clays (Oligocene) of the Clay Pit Unterfeld at Rauenberg (Rhein-Neckar-Kreis, Baden-Württemberg): Apterodon rauenbergensis". Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte **17**: 107-113.
- FRITZSCHE, R.A., 1984: "Aulostomidae." In: FISCHER, W. & BIANCHI, G. (Hrsg.): "FAO species identification sheets for fishery purposes". Western Indian Ocean Fishing Area 51. Vol. 1.
- HABLY, L., TAMÁS, J. & CIOPPI, E. 2007: "Sloanea peolai n. comb. - A new European record of Sloanea (Elaeocarpaceae) in the Italian Oligocene." Review of Palaeobotany and Palynology **146** (1): 18-28.
- HEEMSTRA, P.C. 1986: "Veliferidae". In: SMITH, M.M. & HEEMSTRA, P.C. (Hrsg.): "Smiths' sea fishes". Springer-Verlag, Berlin: 398-399.
- HOVESTADT, D.C., HOVESTADT-EULER, M. & MICKLICH, N. 2010: "A review of the chondrichthyan fauna of Grube Unterfeld (Frauenweiler) clay pit". Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte **17**: 57-71.
- HUREAU, J.-C. & LITVINENKO, N.I. 1986: "Scorpaenidae". In: WHITEHEAD, P.J.P., BAUCHOT, M.-L., HUREAU, J.-C., NIELSEN, J. & TORTONESE, E. (Hrsg.): "Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean". UNESCO, Paris. Vol. **3**: 1211-1229.
- JAMES, P.S.B.R. 1984: "Leiognathidae". In: FISCHER, W. & BIANCHI, G. (Hrsg.): "FAO species identification sheets for fishery purposes. Western Indian Ocean (Fishing Area 51)". Vol. **2**.
- JIN, J., KODRUL, T. M., LIAO, W., & WANG, X. 2009: "A new species of Craigia from the Eocene Changchang Formation of Hainan Island, China". Review of Palaeobotany and Palynology, **155** (1), 80-82.
- KHALAF, M.A. & KRUPP, F. 2008: "A new species of the genus Symphysanodon (Perciformes: Symphysanodontidae) from the Gulf of Aqabar, Red Sea". aqua - International Journal of Ichthyology **14** (2): 85-88.
- KRÜSSMANN, G 1977: "Handbuch der Laubgehölze, Band II". Berlin, 486 S..
- KRÜSSMANN, G. 1978: "Handbuch der Laubgehölze. Band III". 2. Auflage, Berlin (Parey)
- KUITER, R. H. 2001: "Seepferdchen, Seenadeln, Fetzenfische und ihre Verwandte: Syngnathiformes". Ulmer Verlag: 242 S.
- KUNZMANN, L. & WALTHER, H. 2002: "Eine obereozäne Blätterflora aus dem mitteldeutschen Weißelster-Becken". Paläontologische Zeitschrift **76** (2): 261-282.
- KVAČEK, Z., MANCHESTER S. R., & SHORN H. E. 2000: "Cones, seeds, and foliage of Tetraclinis salicornioides (Cupressaceae) from the Oligocene and Miocene of western North America: a geographic extension of the European Tertiary species". International Journal of Plant Sciences **161** (2): 331-344.
- KVAČEK, Z. 2004: "Revisions to the early Oligocene flora of Flörsheim (Mainz Basin, Germany) based on epidermal anatomy". Senckenbergiana lethaea **84** (1/2): 1-73.

- LACHNER, E.A. & POST, A. 1990: "*Echeneidae*". In: QUÉRO, J.C., HUREAU, J.C., KARRER, C., POST, A. and SALDANHA, L. (Hrsg.): "*Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)*". JNICT, Lisbon; SEI, Paris; and UNESCO, Paris. Vol. **2**: 725-728.
- LES, D.H., MOODY, M.L., JACOBS, S.W.L. & BAYER, R.J. 2002: "*Systematics of Seagrasses (Zosteraceae) in Australia und New Zealand*". Systematic Botany **27** (3): 468-484.
- MABBERLEY, D.J. 2008: "*Mabberley's Plant-Book. A portable dictionary of plants, their classification and uses*". Third Edition, Cambridge University Press.
- MAI, D.H. 1987: "*Neue Arten nach Früchten und Samen aus dem Tertiär von Nordwestsachsen und der Lausitz*". Feddes Repertorium **98**: 105-126.
- MAI, D.H. 1997a: "*Die oberoligozänen Floren am Nordrand der Sächsischen Lausitz*". Palaeontographica, Abt. B, **244**: 1-124.
- MAI, D.H. 1997b: "*Contribution to the flora of the middle Oligocene Calau-Beds in Brandenburg, Germany*". Review of Paleobotany and Palynology **101**: 43-70.
- MCBRIDE, R. & THURMAN, P.E. 2003: "*Reproductive biology of Hemiramphus brasiliensis and H. balao (Hemiramphidae): Maturation, Spawning Frequency, and Fecundity*". Biological Bulletin **204**: 57-67.
- MICKLICH, N. & PARIN, N. 1996: "*The fishfauna of Frauenweiler (Middle Oligocene, Rupelian; Germany): First results of a review*". Publicaciones Especiales de Instituto Español de Oceanografía **21**: 129-148.
- MICKLICH, N. 1998: "*New informations on the Frauenweiler fossil site*". Italian Journal of Zoology **65**: 169-184.
- MONNINGER, S. & FREY, E. 2010: "*Die unteroligozäne Insektentaphonozönose am Fuße des Kraichgaus (Baden-Württemberg)*". Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte **17**: 23-55.
- MASUDA, H., AMAOKA, K., ARAGA, C., UYENO, T. & YOSHINO, T., 1984: "*The fishes of the Japanese Archipelago*". Vol. 1. Tokai University Press, Tokyo, Japan: 437 S.
- MAXWELL, E., ALEXANDER, S., BECHLY, G., ECK, K., FREY, E., GRIMM, K., KOVAR-EDER, J., MAYR, G., MICKLICH, N., RASSER, M., ROTH-NEBELSICK, A., SALVADOR, R.B., SCHOCH, R.R., SCHWEIGERT, G., STINNESBECK, W., WOLF-SCHWENNINGER, K., ZIEGLER, R. 2016: "*The Rauenberg fossil Lagerstätte (Baden-Württemberg, Germany): a window into early Oligocene marine and coastal ecosystems of Central Europe*". Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **463**: 238-260.
- MAYR, G. 2000: "*A new mousebird (Coliiformes: Coliidae) from the Oligocene of Germany*". Journal of Ornithology **141**: 85-92.
- MAYR, G. 2004a: "*A partial skeleton of a new fossil loon (Aves, Gaviiformes) from the early Oligocene of Germany with preserved stomach content*". Journal of Ornithology **145**: 281-286.
- MAYR, G. 2004b: "*Old World fossil record of modern-type hummingbirds*". Science **304**: 861.
- MAYR, G. 2005: "*A tiny barbet-like bird from the Lower Oligocene of Germany: The smallest species and earliest substantial fossil record of the pici (Woodpeckers and allies)*". Science **304**: 861.

- MAYR, G. & MANEGOLD, A. 2006: "New specimens of the earliest European passeriform bird". *Acta Palaeontologica Polonica* **51** (2): 315-323.
- MAYR, G. & KNOPF, C.W. 2007b: "A tody (*Alcediniformes: Todidae*) from the Early Oligocene of Germany". *The Auk* **124** (4): 1294-1304.
- MUNDY, B.C., 2005: "Checklist of the fishes of the Hawaiian Archipelago". Bishop Museum Bulletin of Zoology **6**: 1-704.
- MYERS, R.F. 1991: "Micronesian reef fishes". Second Edition Coral Graphics, Barrigada: 298 S.
- NAKAMURA, I., 1985: "FAO species catalogue. Vol. 5. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date". FAO Fish Synopsis **125** (5): 65 S.
- NAKAMURA, I. & PARIN, N.V. 1993: "Snake mackerels and cutlassfishes of the world (families *Gempylidae* and *Trichiuridae*). An annotated and illustrated catalogue of the snake mackerels, snoeks, escolars, gemfishes, sackfishes, domine, oilfish, cutlassfishes, scabbardfishes, hairtails and frostfishes known to date." FAO Species Catalogue **15**: 136 S.
- NIELSEN, J.G., COHEN, D.M., MARKLE, D.F. & ROBINS, C.R., 1999: "Ophidiiform fishes of the world (Order *Ophidiiformes*). An annotated and illustrated catalogue of pearlfishes, cusk-eels, brotulas and other ophidiiform fishes known to date". FAO Fish Synopsis **125** (18): 178 S.
- PARIN, N. & ASTAKHOV, D.A. 2007: "New fossil fish *Musculopedunculus micklichi* (*Trichiuroidei*) from the Lower Oligocene of Germany". *Journal of Ichthyology*. **47** (8): 547-554.
- PARIN, N. & MICKLICH, N. 1996: "Fossil *Gasterosteiformes* from the Lower Oligocene of Frauenweiler (Baden-Württemberg, Germany), 1. New information on the morphology and systematics of the genus *Aeoliscus* Jordan & Starks 1902". *Paläontologische Zeitschrift* **70** (3/4): 521-545.
- PAXTON, J.R., HOESE, D.F., ALLEN, G.R. & HANLEY, J.E. 1989: "Pisces. *Petromyzontidae* to *Carangidae*". Zoological Catalogue of Australia, Vol. 7. Australian Government Publishing Service, Canberra: 665 S.
- PROKOFIEV, A.M. & KUKUEV, E.I. 2009: "New findings of rare fish species from families *Mitsukurinidae* (*Chondrichthyes*), *Muraenidae*, *Lophiidae*, *Macrouridae*, and *Psychrolutidae* (*Teleostei*) on raises of the Atlantic Ocean with the description of *Gymnothorax walvinsensis* sp." *Journal of Ichthyology* **49** (3): 215-227.
- QUÉRO, J.-C., 1986. "Caproidae". In: WHITEHEAD, P.J.P., BAUCHOT, M.-L., HUREAU, J.-C., NIELSEN, J. & TORTONESE, E. (Hrsg.): "Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean". UNESCO, Paris. Vol. 2: 777-779.
- RANDALL, J.E., ALLEN, G.R. & STEENE, R.C. 1990: "Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea". University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii: 506 p.
- ROBINS, C.R. & RAY, G.C. 1986: "A field guide to Atlantic coast fishes of North America". Houghton Mifflin Company, Boston, U.S.A: 354 S.
- ROUX, C., 1990: "Trachinidae". In: QUERO, J.C., HUREAU, J.C., KARRER, C., POST, A. & SALDANHA, L. (Hrsg.): "Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)". JNICT, Lisbon; SEI, Paris; and UNESCO, Paris. Vol. 2: 893-895.

- SAKAMOTO, K., UYENO, T. & MICKLICH, N. 2003a: "Oligoscoptthalmus weissii gen. et sp. nov., an Oligocene Scophthalmid Flatfish from Frauenweiler, S-Germany". Bulletin of the National Science Museum **C29**: 25-32.
- SCHÖGGL, H. & MICKLICH, N. 2010: "Eine Seekuh aus dem Rupelton der Tongrube Unterfeld". Kaupia - Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte **18**: 81-87.
- TORTONESE, E. 1986: "Serranidae" in WHITEHEAD, P.J.P, BAUCHOT, M.-L., HUREAU, J.-C., NIELSON, J. & TORTONESE (Hrsg.): "Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean". UNESCO, Paris, Vol. 2.
- WAGNER-KLETT, W. 1919: "Das Tertiär von Wiesloch in Baden, ein Beitrag zu seiner tektonischen, stratigraphischen und palaeontologischen Kenntnis". Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins: 73-118.
- WALTHER, H. 1999: "Die Tertiärflora von Kleinsaubernitz bei Bautzen". Palaeontographica, Abt. B, **249**: 63-174.
- WHITEHEAD, P. J. P. 2005: "Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeioidi). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies, and wolf-herrings. Part 1. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae". FAO Species Catalogue of Fishery Purpose **7**.
- WHITELOCK, L.M. 2002: "The Cycads". Timber Press, Portland.
- WINTERSCHIED, H. & GREGOR, H.-J. 2008: "Eine Megaflora aus dem Rupelton (Unteroligozän) von Wiesloch bei Heidelberg (Baden-Württemberg)". Verlag Documenta Natura. 17 S.
- ZHENG-YI, W. & RAVEN, P.H. 2002: "Flora of China. Volume 8: Brassicaceae through Saxifragaceae". Science Press/ Missouri Botanical Garden Press, Beijing/ St. Louis.
- ZIEGLER, B. 1991: "Spezielle Paläontologie - Protisten, Spongien und Coelenteraten, Mollusken". 2. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart: 409 S.

**Eidesstattliche Versicherung gemäß § 8 der Promotionsordnung
der Naturwissenschaftlich-Mathematischen Gesamtfakultät
der Universität Heidelberg**

1. Bei der eingereichten Dissertation zu dem Thema

handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.

2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.

3. Die Arbeit oder Teile davon habe ich wie folgt/bislang nicht¹⁾ an einer Hochschule des In- oder Auslands als Bestandteil einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.

Titel der Arbeit: _____

Hochschule und Jahr: _____

Art der Prüfungs- oder Qualifikationsleistung: _____

4. Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärungen bestätige ich.

5. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt.

Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erklärt und nichts verschwiegen habe.

Ort und Datum

Unterschrift

¹⁾ Nicht Zutreffendes streichen. Bei Bejahung sind anzugeben: der Titel der andernorts vorgelegten Arbeit, die Hochschule, das Jahr der Vorlage und die Art der Prüfungs- oder Qualifikationsleistung.